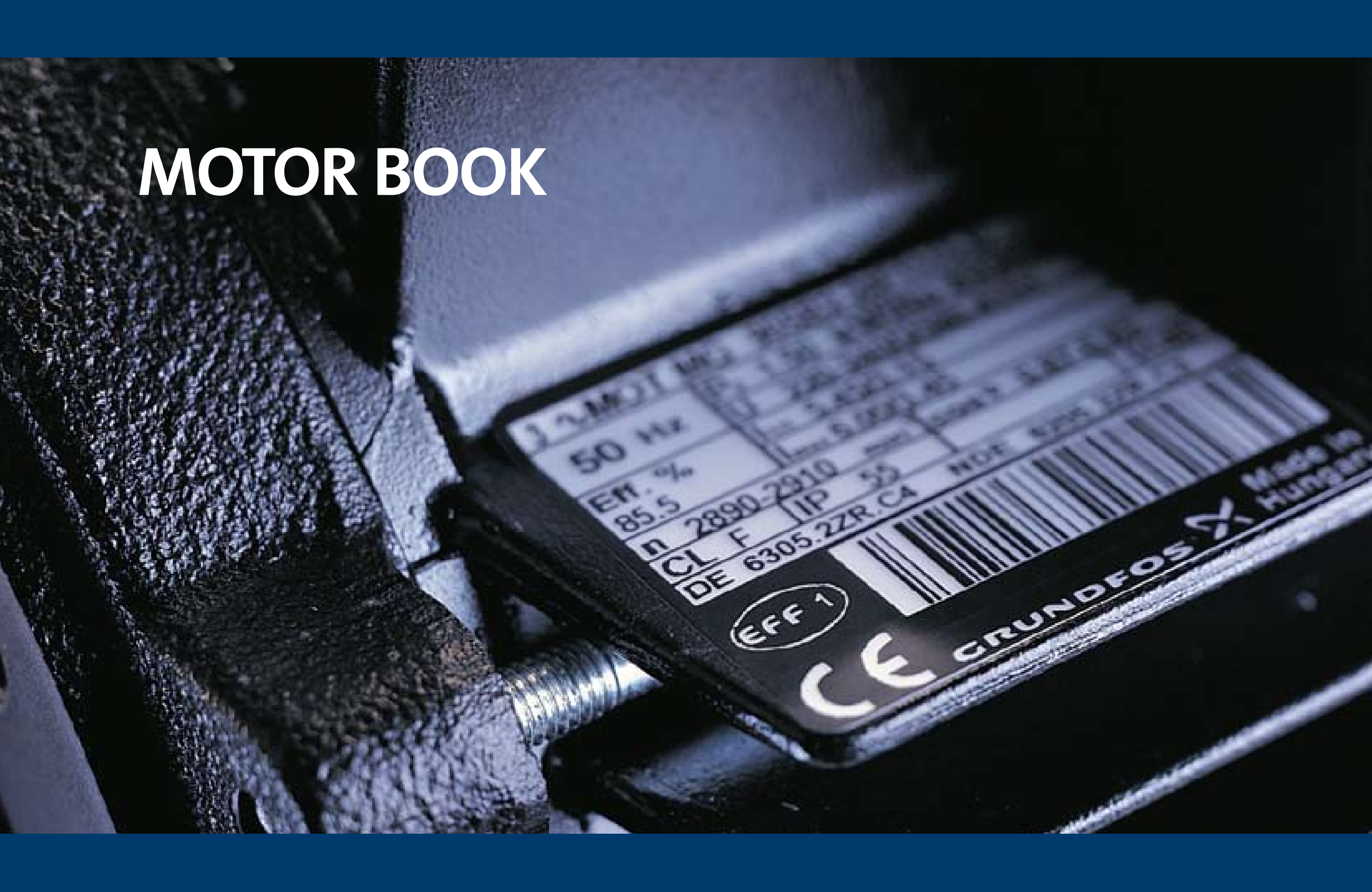
MOTOR BOOK



BE > THINK > INNOVATE >

GRUNDFOS

Einführung

Willkommen zum Grundfos Motorhandbuch! Das vorliegende Handbuch enthält alles Wissenswerte über Elektromotoren - vom Funktionsprinzip bis zu den Einsatzgebieten. Bevor es jedoch ins Detail geht, ist zu klären, welche Aufgabe der Elektromotor eigentlich erfüllen soll. Denn alle Elektromotoren sind immer speziell für einen ganz bestimmten Aufgabenbereich konzipiert. Da es sich hier um ein von Grundfos veröffentlichtes Fachbuch handelt, liegt der Schwerpunkt auf Elektromotoren, die hauptsächlich zum Antreiben von Pumpen dienen. Dennoch kommt auch der Grundlagenteil nicht zu kurz, so dass sich das Handbuch auch an diejenigen richtet, die allgemein an Elektromotoren interessiert sind.

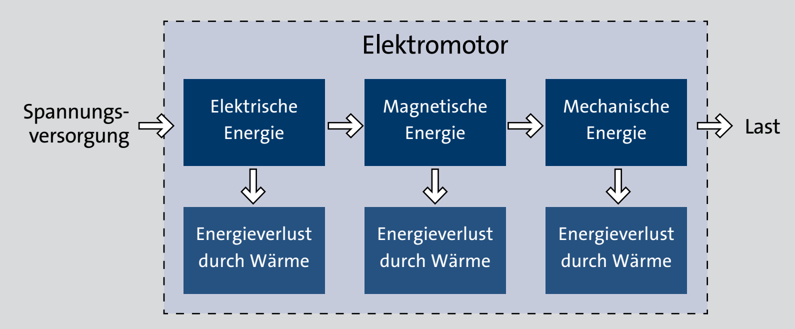
Doch zunächst soll der Blick weit zurück in die Vergangenheit gehen. Schon früh hat Archimedes erkannt, dass Wasser mit Hilfe von rotierenden Schrauben (Spiralen) bewegt und nach oben befördert werden kann - ein Vorgang, den wir heute als „Pumpen“ oder „Fördern“ bezeichnen. Zu Ehren von Archimedes - dem Pioneer der Wasserförderung - hat Grundfos deshalb die Archimedische Spirale in sein Firmenlogo aufgenommen.

Für den gesamten Förderprozess ist die Rotation ein wichtiger Bestandteil. Deshalb ist der Motor eine wichtige Komponente einer jeden Pumpe. Denn ohne Motor gäbe es keine Rotation - und das Wasser könnte nicht bewegt werden.

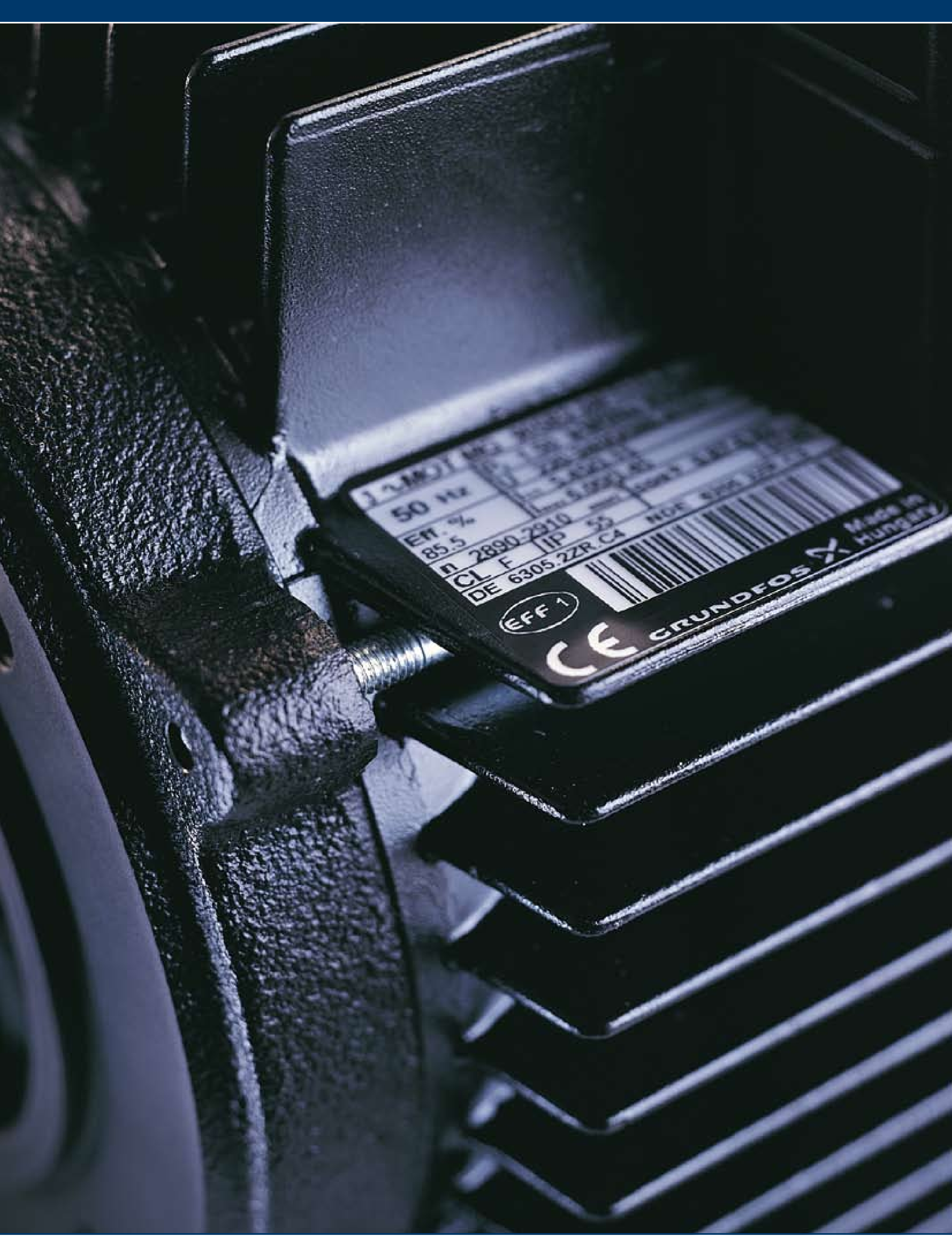
Die Aufgabe des Elektromotors besteht in der Erzeugung einer Drehbewegung, d.h. elektrische Energie in mechanische Energie umzuwandeln. Pumpen werden mit Hilfe von mechanischer Energie angetrieben und diese wird in der Regel von Elektromotoren bereit gestellt. Bei der Umwandlung der Energie von einer Energieform in eine andere spielt Magnetismus eine entscheidende Rolle. Im nachfolgenden Abschnitt werden deshalb zunächst die Grundlagen des Magnetismus erläutert.



Archimedische Spirale



Funktionsprinzip der Elektromotoren: Energieumwandlung


50 Hz
Eff. %
85.5
n 2890-2910
CL F
IP 55
DE 6305.2ZR.C4
EFF 1
CE
GRUNDFOS
Made in Hungary

Kapitel


GRUNDFOS

1. Elektrische Grundlagen



Physikalische Grundlagen

In diesem Abschnitt wird das grundlegende Funktionsprinzip des Motors beschrieben. Vermittelt werden die physikalischen Grundlagen, die zum Verständnis der weiteren Abschnitte benötigt werden. Im Einzelnen werden die Wirkungsweise des Magnetismus, des Wechselstroms (AC), des Elektromagnetismus sowie der Motoraufbau und das Drehmoment erläutert.

Magnetismus

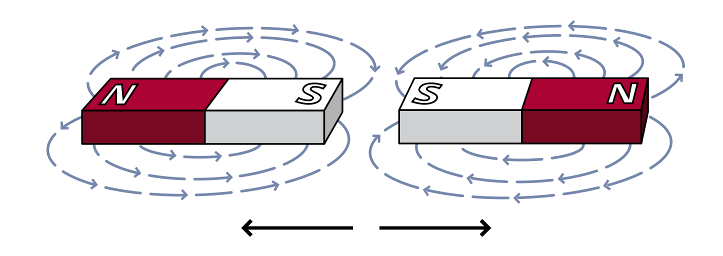
Alle Magneten haben zwei grundlegende Eigenschaften: Sie ziehen ferromagnetische Metalle an, wie z.B. Eisen und Stahl, und sie richten sich immer in Nord-Süd-Richtung aus, wenn die Feldlinien nicht umgelenkt werden. Eine weitere wichtige Eigenschaft von Magneten ist, dass sie alle einen Nord- und Südpol besitzen: ungleichnamige Pole ziehen einander an, gleichnamige Polen stoßen einander ab.

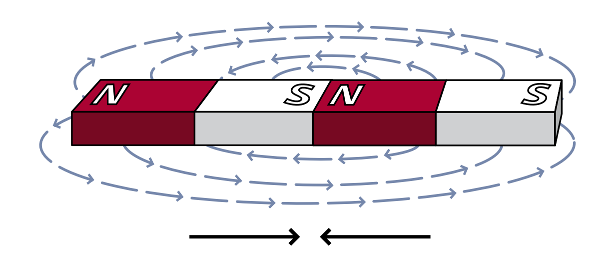
Magnetische Feldlinien

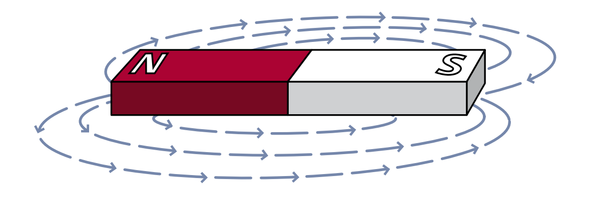
Das magnetische Feld – die unsichtbare Kraft, die für das Verhalten der Magnete verantwortlich ist – kann mit Hilfe von Feldlinien, die sich vom Nordpol zum Südpol ausbreiten, sichtbar gemacht werden. In einigen Fällen sind der Nord- und Südpol jedoch nicht so einfach zu erkennen wie bei herkömmlichen Stab- oder Hufeisenmagneten. Dies ist besonders beim Elektromagnetismus der Fall.

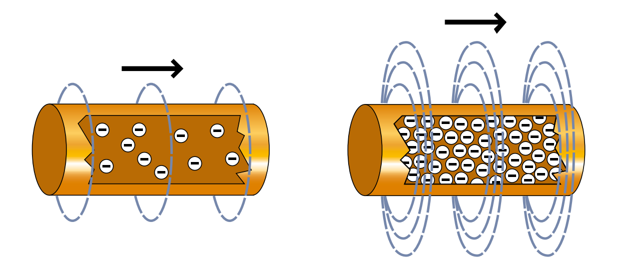
Elektromagnetismus

Wird ein elektrischer Leiter von einem elektrischen Strom durchflossen, entsteht um den elektrischen Leiter herum ein Magnetfeld. Diese Eigenschaft wird als Elektromagnetismus bezeichnet, bei dem dieselben physikalischen Regeln gelten wie bei dem in der Natur vorkommenden Magnetismus. Das Magnetfeld bewegt sich dabei um den Leiter.

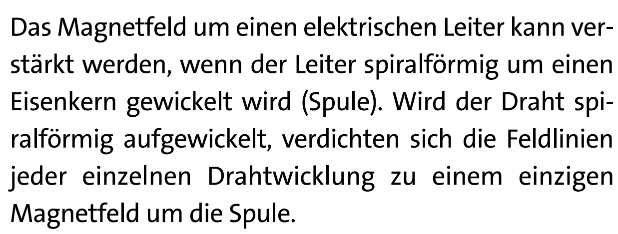






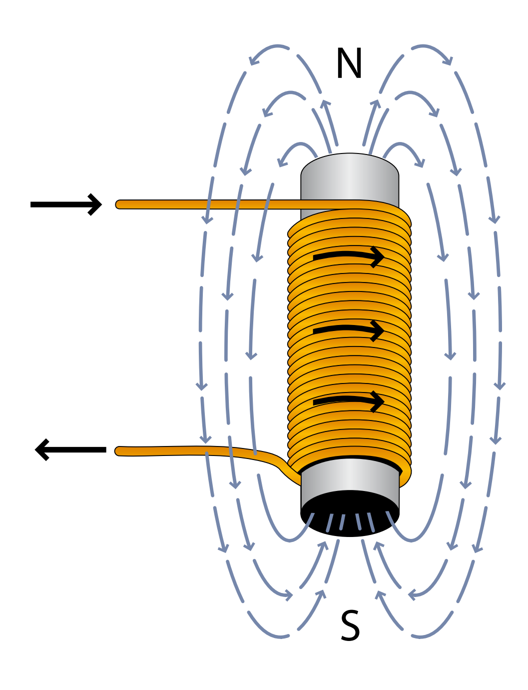


Magnetfeld um einen Leiter.
Je größer der Strom, desto größer das Magnetfeld.



Physikalische Grundlagen

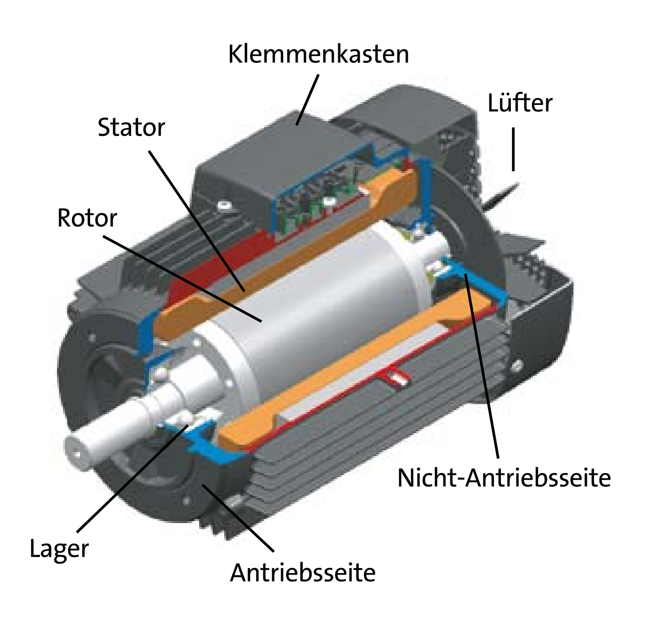
Das Magnetfeld um einen elektrischen Leiter kann verstärkt werden, wenn der Leiter spiralförmig um einen Eisenkern gewickelt wird (Spule). Wird der Draht spiralförmig aufgewickelt, verdichten sich die Feldlinien jeder einzelnen Drahtwicklung zu einem einzigen Magnetfeld um die Spule.
Dabei gilt: Je größer die Anzahl der Windungen und je höher der Strom, desto stärker das Magnetfeld. Das elektrisch erzeugte Magnetfeld hat dieselben Eigenschaften wie ein natürliches Magnetfeld. Es besitzt somit auch einen Nord- und Südpol.
Bevor der Magnetismus jedoch in allen Einzelheiten beschrieben wird, sollen die Hauptkomponenten eines Elektromotors kurz vorgestellt werden: der Stator und der Rotor.



Durch eine Umkehr der Stromdurchflussrichtung kann die Polarität der Pole geändert werden.

Rotor:
Der Rotor ist der bewegliche Teil des Motors. Er dreht sich zusammen mit der Welle bei jeder Änderung des vom Stator erzeugten Magnetfelds.

Stator:
Der Stator ist der feststehende, elektrische Teil des Motors. Er enthält eine Anzahl an Wicklungen, deren Polarität sich bei Anlegen eines Wechselstroms (AC) laufend ändert. Auf diese Weise wird das resultierdende Magnetfeld des Stators erzeugt.



Elektromotor

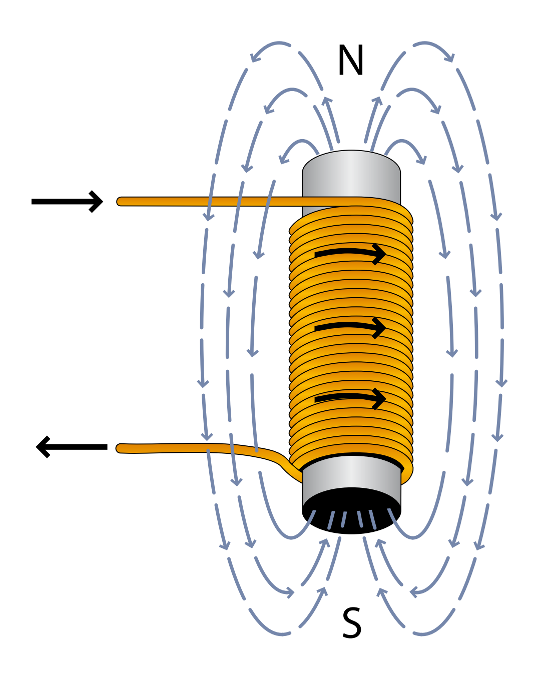


Rotation durch Magnetismus

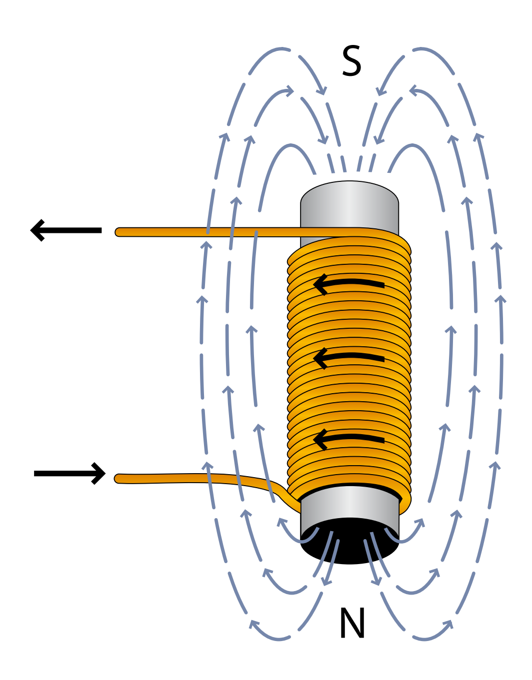
Der Vorteil eines Magnetfelds, das von einer stromdurchflossenen Spule erzeugt wird, besteht zum einen in seiner Stärke, aber auch in der Möglichkeit, seine Polarität durch Umkehren der Stromdurchflussrichtung zu ändern. Genau diese Eigenschaft, die beiden Pole umpolen zu können, wird zur Erzeugung der mechanischen Energie genutzt. Im Folgenden wird dieses Funktionsprinzip kurz beschrieben.

Gegensätze ziehen sich an

Gleichnamige Pole stoßen einander ab, während sich ungleichnamige Pole gegenseitig anziehen. Dieses Verhalten wird zur Erzeugung einer konstanten Drehbewegung des Rotors genutzt, indem die Polarität im Stator laufend geändert wird. Der Rotor kann dabei als Magnet angesehen werden, der im Stator drehbar angeordnet ist. Die Rotation erfolgt in eine Richtung und diese Drehbewegung wird auf die Welle übertragen. Auf diese Weise wird der Magnetismus genutzt, um elektrische Energie in mechanische Energie umzuwandeln.



Durch eine Umkehr der Stromdurchflussrichtung kann die Polarität der Pole geändert werden.





Umpolung durch Wechselstrom

Die magnetische Polarität wird durch den Wechselstrom (AC) laufend umgekehrt. In einem späteren Abschnitt wird der im Stator rotierende Magnet durch einen Rotor ersetzt, der mit Hilfe der Induktion in Drehung versetzt wird. Dabei spielt der Wechselstrom eine wichtige Rolle, der deshalb hier kurz erläutert werden soll.

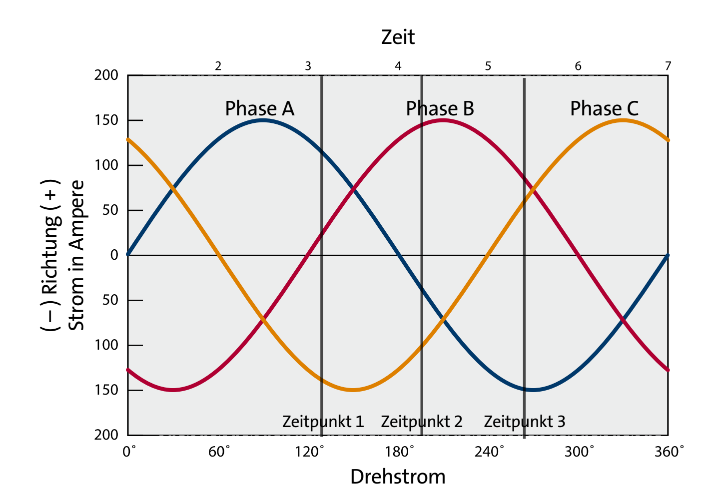
Wechselstrom

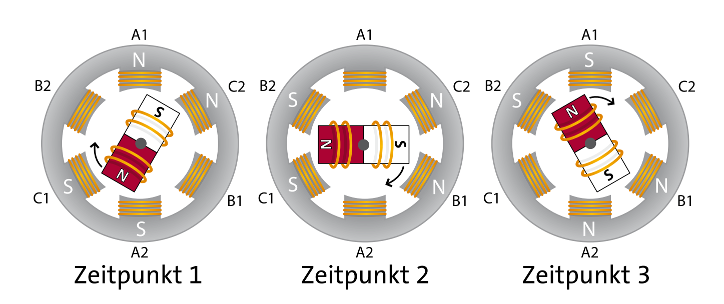
Als Wechselstrom wird ein elektrischer Strom bezeichnet, der periodisch einen positiven und einen negativen Wert annimmt.

Ein magnetisches Drehfeld kann z.B. durch Verwendung eines dreiphasigen Stroms erzeugt werden. Das bedeutet, dass der Stator an eine Wechselstromquelle angeschlossen wird, der drei getrennte Stromflüsse (auch als Phase bezeichnet) liefert, die alle zum selben Stromkreis gehören. Ein kompletter Zyklus besteht aus 360°, d.h. jede Phase ist gegenüber den anderen um 120° verschoben. Die einzelnen Phasen werden als Sinuskurven dargestellt, siehe Abbildung rechts oben.

Das Umpolen

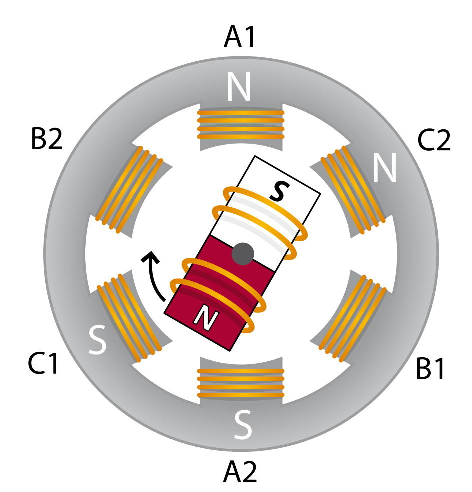
Auf den folgenden Seiten wird erklärt, wie Rotor und Stator zusammenwirken und so für die Drehbewegung des Motors sorgen. Um das Zusammenwirken zu verdeutlichen, wurde der Rotor durch einen rotierenden Magneten und der Stator durch ein feststehendes Bauteil mit Spulen ersetzt. Die Abbildung rechts ist als vereinfachte Darstellung eines zweipoligen Drehstrommotors zu verstehen. Die Phasen sind wie bei einem echten Motor paarweise an die einzelnen Spulenpaare angeschlossen: Phase 1 an die Spulen A1 und A2, Phase 2 an die Spulen B1 und B2 und Phase 3 an die Spulen C1 und C2. Fließt Strom durch die Statorwicklungen, wird eine Spule des Paares zum Nordpol und die andere zum Südpol. Ist z.B. A1 der Nordpol, dann ist A2 der Südpol. Aus den bisherigen Ausführungen lässt sich nun folgendes Funktionsprinzip ableiten: Wird die Stromrichtung umgekehrt, ändert sich auch die Polarität der Pole.



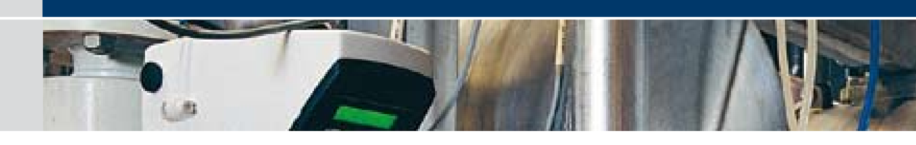


Die einzelnen Schritte der Drehbewegung

> Dreiphasiger Wechselstrom
> Der dreiphasige Wechselstrom ist eine periodische Aneinanderreihung von sich überlappenden Wechselstromspannungen (AC).



Momentaufnahme des magnetischen Drehfelds



Umpolung durch Wechselstrom

Anlegen von Wechselstrom

Die Phasenwicklungen A, B und C sind um 120° versetzt angeordnet. Die Anzahl der Pole wird dadurch bestimmt, wie häufig eine Phasenwicklung vertreten ist. In der oberen Abbildung rechts kommt jede Wicklung zweimal vor. Es handelt sich also um einen zweipoligen Stator. Ist jede Phasenwicklung viermal vorhanden, ist es ein 4-poliger Motor, usw.

Wird eine Spannung an die Phasenwicklungen angelegt, fängt der Motor an zu drehen. Die Drehzahl richtet sich dabei nach der Anzahl der Pole.

Das Rotieren des Rotors

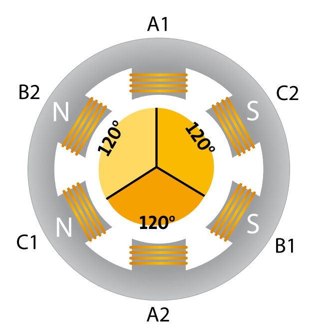
Auf den folgenden Seiten wird beschrieben, wie sich der Rotor im Innern des Stators dreht. Auch hier wurde der Rotor zur Veranschaulichung durch einen Magneten ersetzt. Die Änderungen im Magnetfeld erfolgen sehr schnell, so dass zur Erklärung eine schrittweise Darstellung des Ablaufs erforderlich ist.

In der unteren Abbildung rechts ist dargestellt, wie zum betrachteten Zeitpunkt durch den Stromfluss in der Wicklung A1 ein **Nordpol** entsteht. Der Südpol des im Innern des Stators angeordneten Magneten richtet sich nun zum Nordpol der Statorwicklung A1 aus, so dass der Magnet anfängt sich zu drehen.

Mit Beginn seiner Drehbewegung versucht der Magnet dem magnetischen Drehfeld des Stators zu folgen.

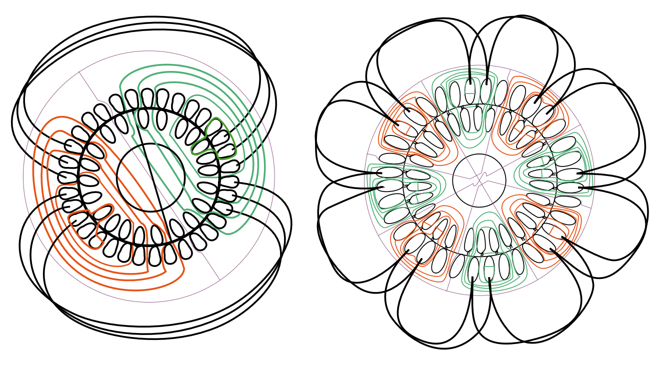
Auf diese Weise wird die Drehbewegung des Magneten aufrecht erhalten. Deshalb muss das Statorfeld als nächstes geändert werden, um den Drehprozess weiter fortzusetzen. Dadurch wird eine Drehbewegung in eine Richtung erreicht.

Als nächstes folgt die Beschreibung der Induktion, die im nachfolgenden Abschnitt ausführlicher erläutert wird.



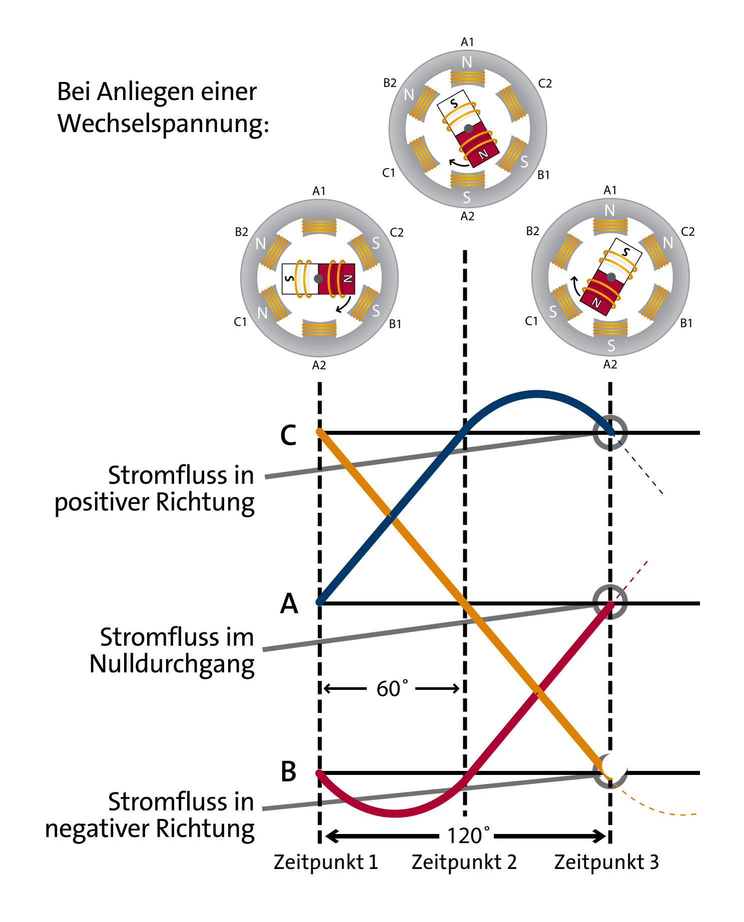
Die Phasenwicklungen A, B und C sind um 120° versetzt angeordnet.

Phasenwicklungen und Anzahl der Pole



2-poliger Drehstrommotor   8-poliger Drehstrommotor

Bei Anliegen einer Wechselspannung:





Induktion

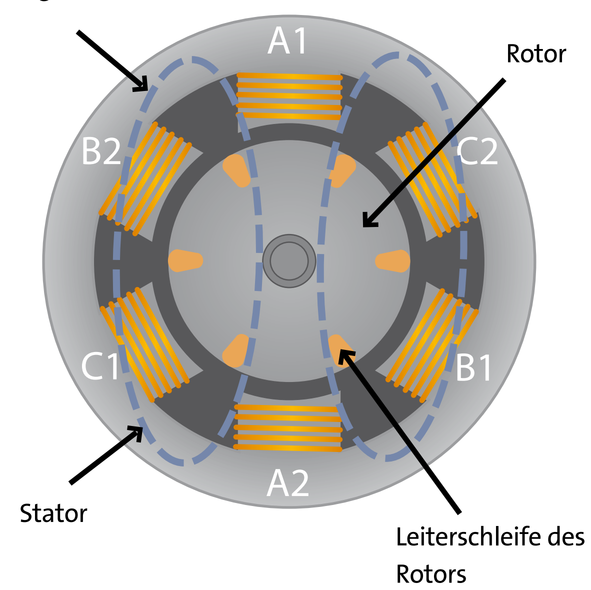
In den vorherigen Abschnitten wurde erläutert, wie sich ein gewöhnlicher Magnet in einem Stator verhalten würde. Bei Wechselstrommotoren befinden sich jedoch keine natürlichen Magneten im Stator, sondern ein Rotor. Dennoch orientiert sich unser bisher angestellter Vergleich nah an der Realität, da der Rotor polarisiert wird. Die Polarisierung erfolgt durch **Induktion**. Dabei wird ein Stromfluss in den Leiterschleifen des Rotors erzeugt. Für die Polarisierung des Rotors sorgt somit der Elektromagnetismus.

Induzierte Spannung

Der Rotor verhält sich genau wie ein Magnet. Wird der Motor eingeschaltet, fließt ein Strom durch die Statorwicklungen, der ein elektromagnetisches Feld erzeugt, das rotiert und die Leiterschleifen des Rotors durchdringt. Dadurch wird ein Strom in den Leiterschleifen des Rotors induziert, der wiederum ein elektromagnetisches Feld um den Rotor herum erzeugt und so den Rotor polarisiert.

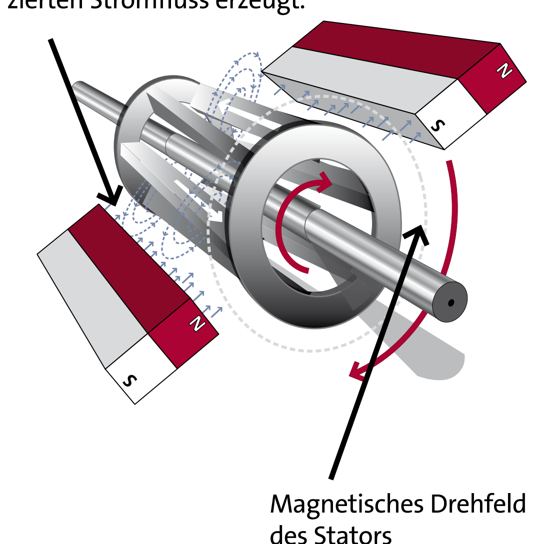
Zur Vereinfachung haben wir im vorherigen Abschnitt den Rotor durch einen Magneten ersetzt. Dasselbe können wir mit dem Stator machen. Das Rotorfeld entsteht nicht einfach aus dem Nichts, sondern ist das Ergebnis der Induktion. Induktion ist ein natürlicher Vorgang, der auftritt, wenn ein Leiter in einem Magnetfeld bewegt wird. Durch die Relativbewegung des Leiters zum Magnetfeld fließt ein elektrischer Strom im Leiter, der als induzierter Stromfluss bezeichnet wird. Der im Rotor induzierte Strom erzeugt ein Magnetfeld um jede Leiterschleife des Rotors. Da die anliegende, dreiphasige Wechselspannung für ein Rotieren des Stator-Magnetfelds sorgt, folgt das induzierte Magnetfeld des Rotors dieser Rotation. Der Rotor ist mit der Motorwelle verbunden, so dass sich die Welle mit dem Magnetfeld mitdreht. Ist der Motor z.B. mit einer Pumpe verbunden, beginnt diese zu fördern.

Deshalb werden Wechselspannungsmotoren häufig auch als AC-Induktionsmotoren (IM) bezeichnet.



Durch Anlegen einer Spannung an den Stator wird ein Magnetfeld erzeugt, dass die Leiterschleifen des Rotors durchdringt und einen Strom im Rotor induziert.

Das Magnetfeld des Rotors wird durch den in den Leiterschleifen des Rotors induzierten Stromfluss erzeugt.





Funktionsprinzip

Echte AC-Induktionsmotoren bestehen nicht aus Magneten, sondern aus einem Rotor und Stator.

Die Ströme in den Statorwicklungen entstehen durch Phasenspannungen, die den Induktionsmotor antreiben. Diese Ströme erzeugen ein magnetisches Drehfeld, das auch als Statorfeld bezeichnet wird. Das rotierende Stator-Magnetfeld wird bestimmt durch die Wicklungsströme und die Anzahl der Phasenwicklungen.

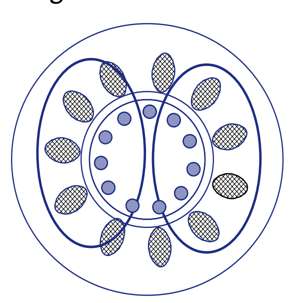
Das magnetische Drehfeld bildet die Grundlage des Magnetflusses. Das magnetische Drehfeld entspricht der elektrischen Spannung und der Magnetfluss dem elektrischen Strom.

Das magnetische Drehfeld des Stators dreht schneller als der Rotor in der Lage ist, Strom in seinen Leiterschleifen zu induzieren und damit ein Rotor-Magnetfeld aufzubauen. Die Magnetfelder vom Stator und Rotor erzeugen ihre Magnetflüsse, die sich gegenseitig anziehen und ein Drehmoment aufbauen, das den Rotor zum Drehen bringt.

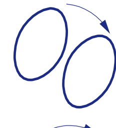
Das Funktionsprinzip des Induktionsmotors ist in der Bildreihe auf der rechten Seite dargestellt.

Rotor und Stator sind somit wichtige Komponenten in einem Wechselstrom-Induktionsmotor. Heute werden Stator und Rotor mit Hilfe von modernen Softwareprogrammen konstruiert. Auf den nächsten Seiten wird der konstruktive Aufbau des Stators und Rotors näher beschrieben.

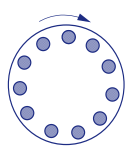
Funktionsweise (Schritt 1 von 3):
Magnetfluss des Stators im Vergleich zur Rotordrehzahl



Rotation des Stator-Magnetflusses (z.B. 3000 min^{-1})

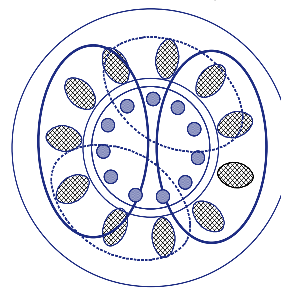


Der Rotor dreht langsamer als der Stator-Magnetfluss, z.B. mit 2900 min^{-1}

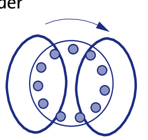


Der rotierende Stator-Magnetfluss entsteht durch das rotierende Magnetfeld des Stators, das wiederum durch den Stromfluss in den unterschiedlichen Phasenwicklungen aufgebaut wird.

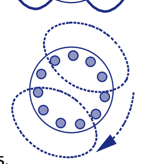
Funktionsweise (Schritt 2 von 3):
Erzeugen des Rotor-Magnetflusses



Der Rotor erkennt, dass der Magnetfluss des Stators mit einer Drehzahl von 3000 min^{-1} rotiert. Das bedeutet (3000 - 2900) min^{-1} = 100 min^{-1}.

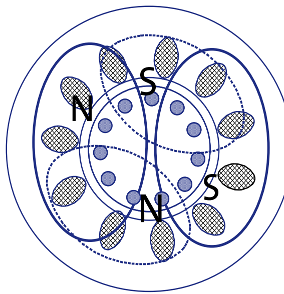


Durch den Drehzahlunterschied werden Ströme im Rotor induziert. Diese Rotorströme erzeugen einen Rotor-Magnetfluss.

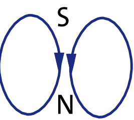


Der Rotor-Magnetfluss rotiert mit einer Drehzahl von 3000 min^{-1} (genauso wie der Stator-Magnetfluss).

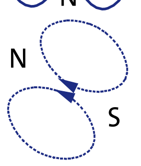
Funktionsweise (Schritt 3 von 3):
Erzeugen des Drehmoments



Durch die Richtung des Rotor-Magnetflusses werden zwei Magnetpole gebildet.



Durch die Richtung des Stator-Magnetflusses werden ebenfalls zwei Magnetpole gebildet.



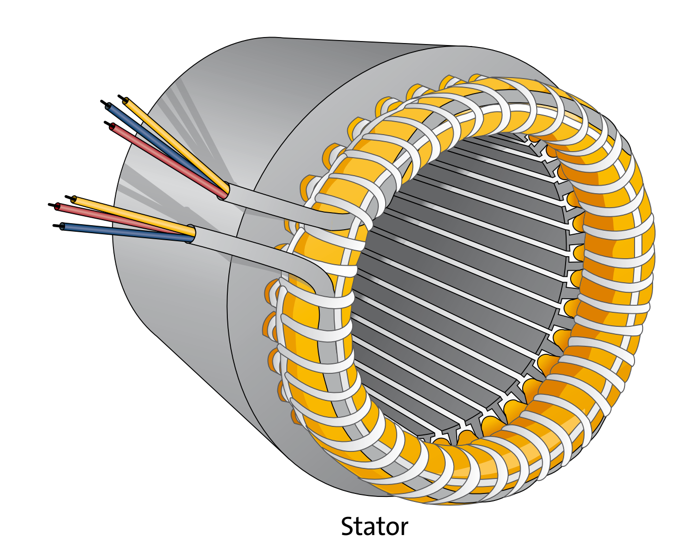
Durch die gegenseitige Anziehung des Rotor-Nordpols und des Stator-Südpols entsteht eine Kraft zwischena dem Stator und dem Rotor. Diese Kraft ist verantwortlich für das Motordrehmoment, das für die Rotation des Rotors sorgt.

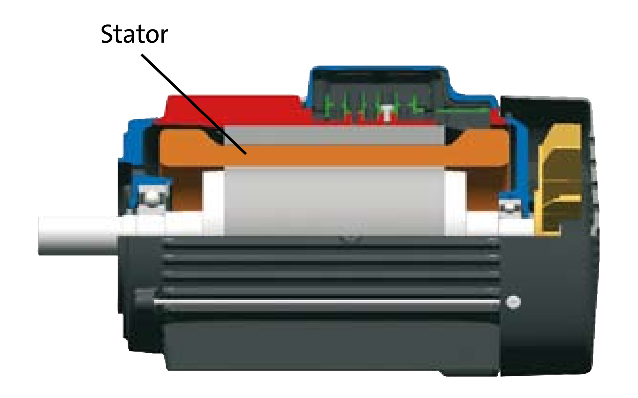
Stator

Der Stator bildet den feststehenden, elektrischen Teil des Motors. Er enthält eine Anzahl an Wicklungen, deren Polarität sich laufend ändert, sobald ein Wechselstrom (AC) angelegt wird. Dadurch wird das resultierende Magnetfeld des Stators in Rotation versetzt.

Alle Statoren sind in einem Rahmen oder Gehäuse eingebaut. Das Statorgehäuse der Grundfos Motoren wird bei Motoren bis 22 kW hauptsächlich aus Aluminium gefertigt, während das Statorgehäuse der größeren Grundfos Motoren aus Grauguss besteht. Der Stator selbst wird in das Statorgehäuse eingebaut. Er besteht aus dünnen, geschichteten Blechpaketen, die mit isoliertem Draht umwickelt sind. Der Kern umfasst Hunderte von diesen Blechpaketen. Wird eine Spannung angelegt, fließt ein Wechselstrom durch die Wicklungen, der ein elektromagnetisches Feld entlang der Rotor-Leiterschleifen aufbaut. Der Wechselstrom (AC) sorgt für die Rotation des Magnetfelds.

Die Statorisolierung ist in Klassen eingeteilt. Die Einteilung in unterschiedliche Isolationsklassen (Wärmeklassen) und Temperaturanstiege (ΔT) erfolgt in der Norm IEC 62114. Die Grundfos Motoren haben die Wärmeklasse F und die Temperaturanstiegsklasse B. Grundfos fertigt 2-polige Motoren bis 11 kW und 4-polige Motoren bis 5,5 kW selbst. Die anderen Motoren der Motorenbaureihe werden von Unterlieferanten gefertigt. Überwiegend werden Statoren mit zwei, vier und sechs Polen zum Antreiben von Pumpen eingesetzt, weil durch die Drehzahl die Förderhöhe und der Förderstrom bestimmt werden. Der Stator kann so gestaltet werden, dass er mit unterschiedlichen Spannungen und Frequenzen betrieben und verschiedene Leistungen liefern kann. Außerdem können Statoren eine unterschiedliche Anzahl an Polen aufweisen.


Stator

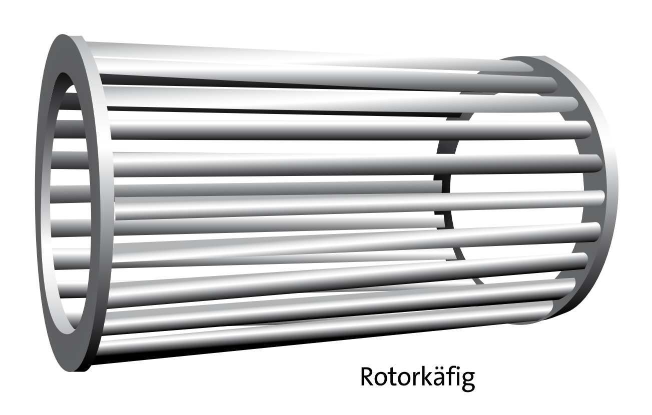




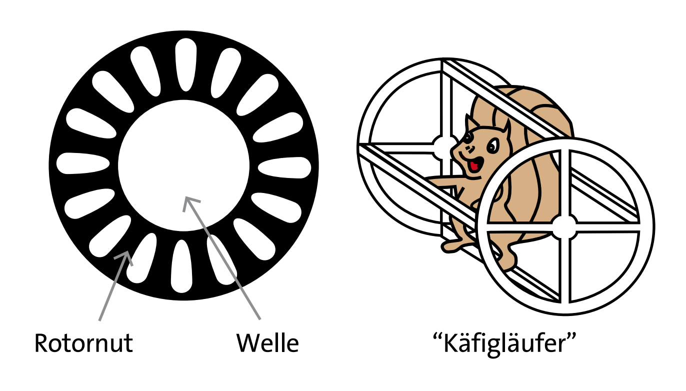
Rotor

In Grundfos Motoren werden sogennante “Käfigläufer”-Rotoren eingesetzt. Der Name leitet sich aus der Ähnlichkeit zu den Laufrädern für Nagetiere ab. Wenn das bewegte Magnetfeld des Stators die Leiterschleifen des Rotors durchdringt, wird ein Strom erzeugt. Dieser Strom fließt durch die Leiterschleifen und erzeugt ein Magnetfeld um jede Leiterschleife. Wenn sich das Magnetfeld im Stator ändert, ändert sich auch das Magnetfeld im Rotor. Diese Wechselwirkung ist für die Drehbewegung des Rotors verantwortlich.

Genauso wie der Stator besteht auch der Rotor aus geschichteten Blechpaketen. Doch im Gegensatz zum Stator, der mit Kupferdraht gefüllt ist, ist der Rotor mit Leiterschleifen aus Gussaluminium oder Silumin (eine Leichtmetallegierung aus Aluminium und Silizium) gefüllt, die als Leiter dienen.

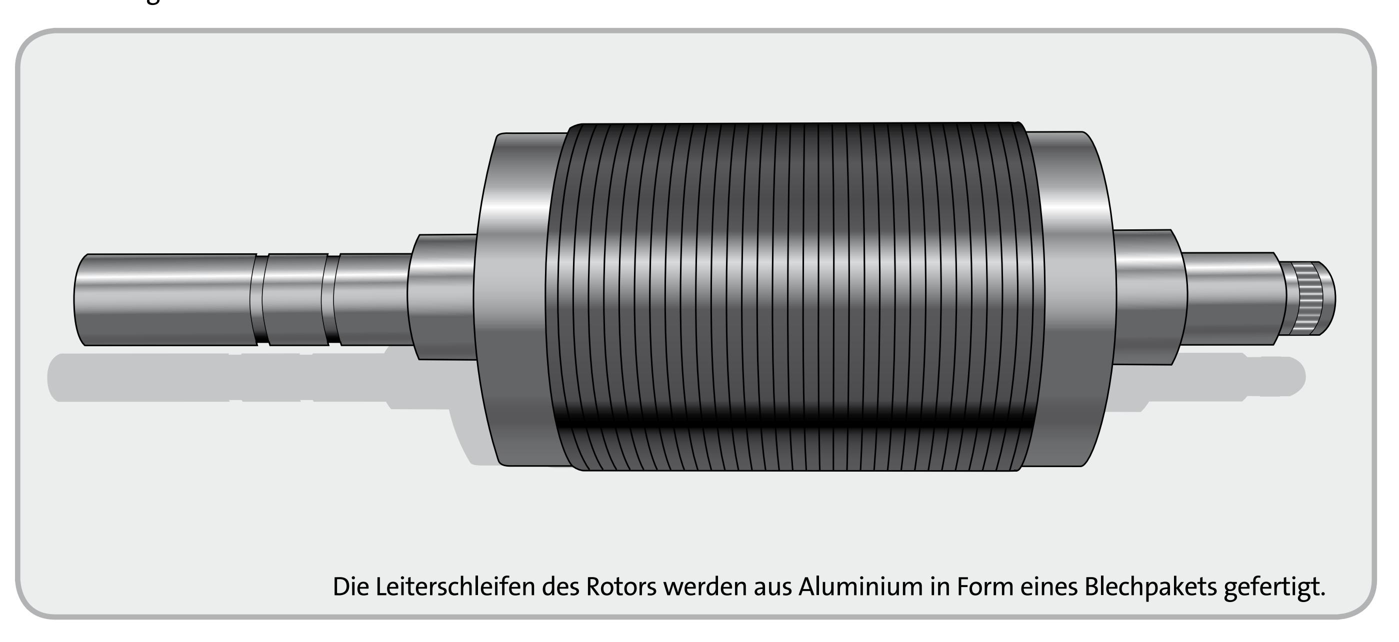






Asynchrone Drehzahl

In den vorherigen Abschnitten wurde erläutert, warum Wechselstrommotoren auch als **Induktionsmotoren** oder **Käfigläufermotoren** bezeichnet werden.
Doch es gibt noch eine weitere Bezeichnung für Wechselstrommotoren: **Asynchronmotor**. Diese Bezeichnung leitet sich aus dem Zusammenhang zwischen der Drehfelddrehzahl und der tatsächlichen Motordrehzahl ab. Auch der Begriff „Schlupf“ tritt in Verbindung mit Asynchronmotoren auf und wird im Folgenden ebenfalls erläutert.



Die Leiterschleifen des Rotors werden aus Aluminium in Form eines Blechpakets gefertigt.

Bei dem Begriff Asynchronmotor wird die Rotation des Magnetfelds aus einem ganz anderen Blickwinkel heraus betrachtet. Die Drehzahl des rotierenden Magnetfelds wird als synchrone Drehzahl (ns) bezeichnet. Die synchrone Drehzahl kann wie folgt berechnet werden: 120 mal die Frequenz (F) geteilt durch die Anzahl der Pole (P). (Oder: 60 * F / Polpaarzahl).

$$n_s = \frac{120 \text{ x } F}{P}$$

Ist die Frequenz der angelegten Spannung z.B. 50 Hz, ist die synchrone Drehzahl eines 2-poligen Motors 3000 min^{-1}.

$$n_s = \frac{120 \cdot 50}{2}$$

$$n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$$

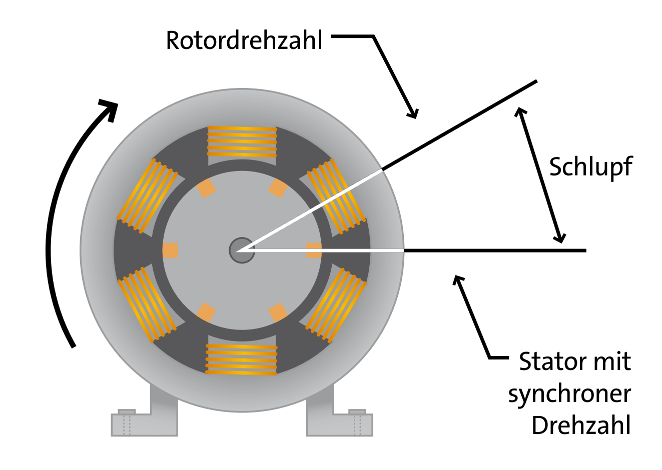
Die synchrone Drehzahl nimmt mit steigender Anzahl der Pole ab. In der Tabelle rechts oben ist die synchrone Drehzahl für verschiedene Polzahlen aufgeführt.

Anzahl der Pole	Synchrone Drehzahl 50 Hz	Synchrone Drehzahl 60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900
12	500	600

Schlupf

So weit, so gut. Doch Wechselstrommotoren werden wir zuvor erwähnt als **Asynchron**motoren bezeichnet. Der Grund für diese Namensgebung liegt darin, dass das Rotorfeld dem Statorfeld in seiner Bewegung nicht genau synchron folgt.

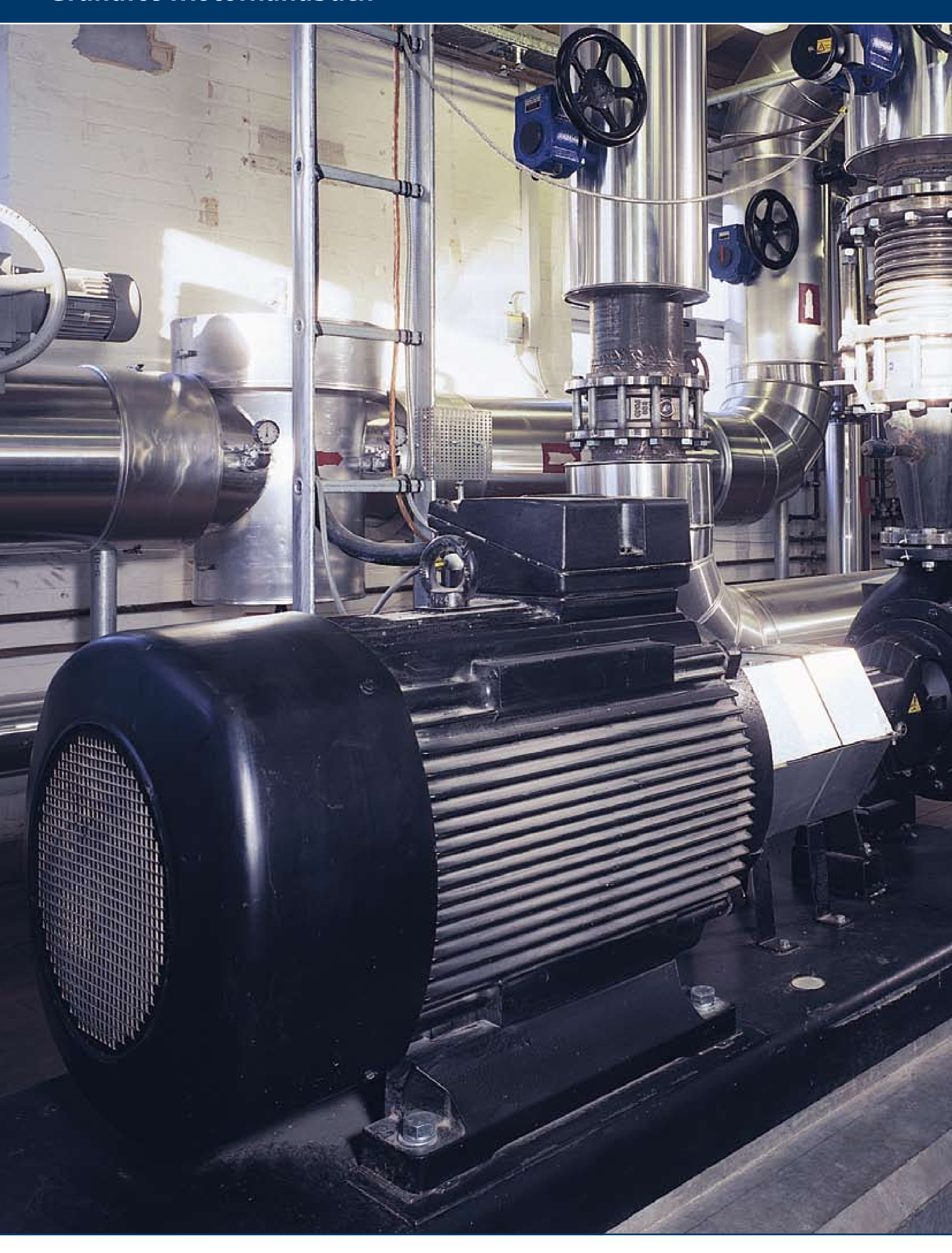
Bei Wechselstrommotoren werden das Drehmoment und die Drehzahl durch die Wechselwirkung zwischen dem Rotor und dem magnetischen Drehfeld des Stators erzeugt. Das Magnetfeld um die Leiterschleifen des Rotors versucht - wie bereits zuvor beschrieben - mit dem Magnetfeld des Stators gleich zu ziehen. Doch im tatsächlichen Betrieb hinkt die Rotordrehzahl immer etwas hinter dem Magnetfeld des Stators hinterher. Das ermöglicht dem Magnetfeld des Rotors das Magnetfeld des Stators zu kreuzen und dadurch das Drehmoment zu erzeugen. Dieser Drehzahlunterschied zwischen dem Rotor- und Stator-Magnetfeld wird als Schlupf bezeichnet und in % gemessen. Schlupf ist ein wichtiger Faktor, der für die Erzeugung des Drehmoments unbedingt erforderlich ist. Je höher die Last - das Drehmoment - desto größer der Schlupf.



$$\text{Schlupf} = \frac{\text{Synchrone Drehzahl} - \text{Rotordrehzahl}}{\text{Synchrone Drehzahl}} \cdot 100\%$$

$$\text{Schlupf} = \frac{1500 \text{ min}^{-1} - 1480 \text{ min}^{-1}}{1500 \text{ min}^{-1}} \cdot 100\%$$

$$\text{Schlupf} = 1{,}3\ \%$$



2. Einphasige Motoren

Einphasenmotoren

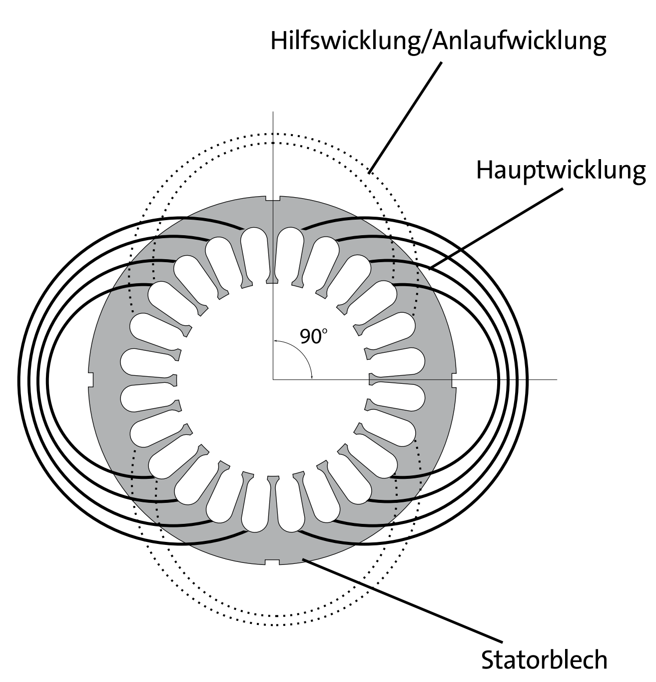
Häufig liegt der Schwerpunkt der Grundlagenvermittlung auf dreiphasigen Motoren. Das liegt vor allem daran, dass als Antrieb für Pumpen weitaus häufiger dreiphasige Motoren als einphasige Motoren eingesetzt werden. Dennoch fertigt Grundfos neben dreiphasigen Motoren auch einphasige Motoren mit einer Leistung bis 2,2 kW in 2-poliger Ausführung und 1,5 kW in 4-poliger Ausführung. Einphasige Motoren arbeiten nach demselben Funktionsprinzip wie dreiphasige Motoren. Sie verfügen jedoch über ein geringeres Anlaufmoment und benötigen deshalb eine Anlaufhilfe. So werden die unterschiedlichen Motortypen hauptsächlich entsprechend der Einschaltart unterteilt.

Ein einphasiger Standard-Stator hat zwei Wicklungen, die im Winkel von 90° zueinander angeordnet sind. Eine der Wicklungen wird als Hauptwicklung bezeichnet, während die andere Wicklung die Bezeichnung Hilfswicklung oder Anlaufwicklung trägt. Je nach Anzahl der Pole kann sich jede Wicklung auf mehrere Unterwicklungen aufteilen.

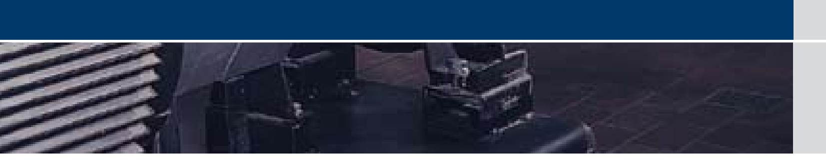
Dargestellt ist ein 2-poliger Einphasenmotor mit vier Unterwicklungen in der Hauptwicklung und zwei Unterwicklungen in der Hilfswicklung.

Es ist zu beachten, dass bei der Gestaltung eines Einphasenmotors immer ein Kompromiss eingegangen werden muss. Die Gestaltung richtet sich immer danach, welche Eigenschaften für die einzelne Aufgabe am wichtigsten ist. Das bedeutet, dass alle Motoren entsprechend der relativen Gewichtung, die z.B. dem Wirkungsgrad, dem Drehmoment oder der Einschaltdauer beigemessen wird, konstruiert werden. Die einphasigen Motoren mit Anlaufkondensator oder Widerstandshilfsphase können wegen ihres pulsierenden Feldes im Betrieb sehr laut sein, verglichen mit den „zweiphasigen“ Motoren mit Betriebskondensator oder Anlauf- und Betriebskondensator, die ein eher ruhiges Laufverhalten aufweisen, weil sie auch im Normalbetrieb über einen Kondensator verfügen. Der Betriebskondensator balanciert den Motor aus und sorgt so für einen gleichmäßigeren Betrieb.





Beispiel eines 2-poligen Einphasenmotors mit vier Unterwicklungen in der Hauptwicklung und zwei Unterwicklungen in der Hilfswicklung

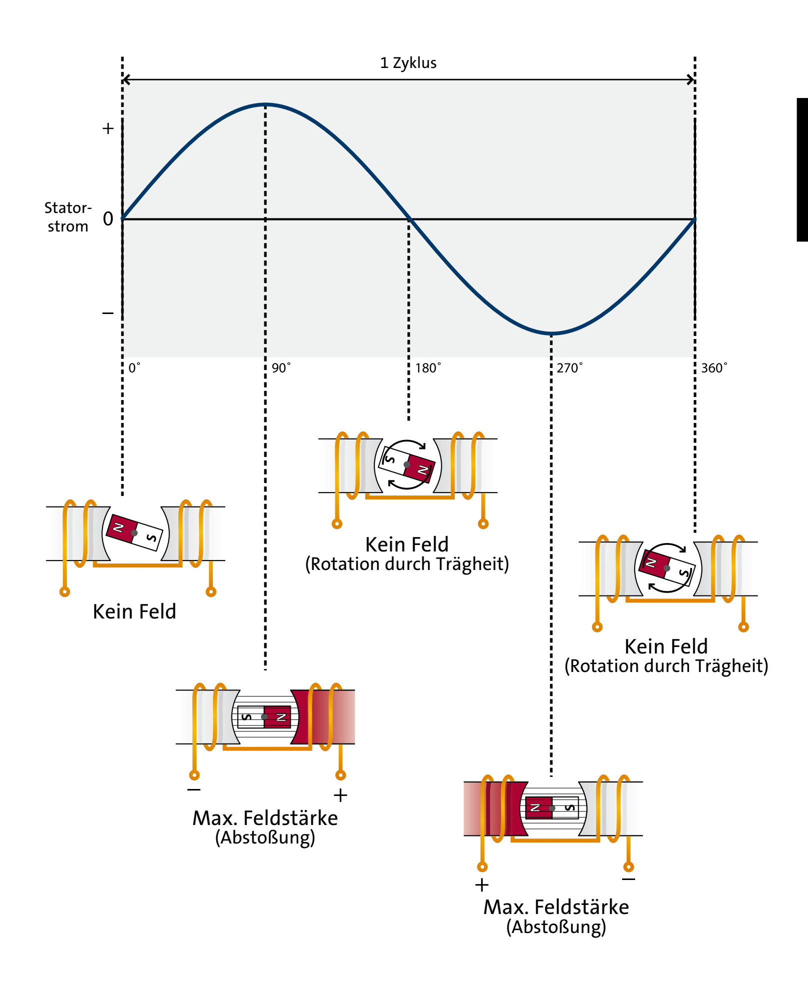


Grundausführungen einphasiger Induktionsmotoren

Bei Haushaltsgeräten und Industriegeräten mit kleiner Leistung erfolgt die Spannungsversorgung durch einphasigen Wechselstrom. Zudem ist in einigen Regionen keine dreiphasige Spannungsversorgung verfügbar. Deshalb sind einphasige Wechselstrommotoren vor allem in den USA weit verbreitet. Außerdem werden Wechselstrommotoren häufig wegen ihrer robusten Bauweise, ihres wartungsfreien Betriebs und der geringen Anschaffungskosten bevorzugt.

Wie der Name bereits aussagt, arbeiten einphasige Induktionsmotoren nach dem Induktionsprinzip - wie auch die dreiphasigen Motoren. Dennoch gibt es Unterschiede: Einphasige Motoren werden in der Regel mit Wechselspannungen von 110-240 V betrieben und das Statorfeld rotiert nicht. Stattdessen wechselt die Polarität, wenn die einphasige sinusförmige Spannung periodisch vom positiven in den negativen Bereich übergeht.

Bei einphasigen Motoren wird das Statorfeld immer in eine Richtung aufgebaut und die Pole ändern ihre Polarität einmal pro Zyklus. Der einphasige Induktionsmotor dreht somit nach dem Anlaufen von allein weiter, benötigt aber eine Anlaufhilfe.

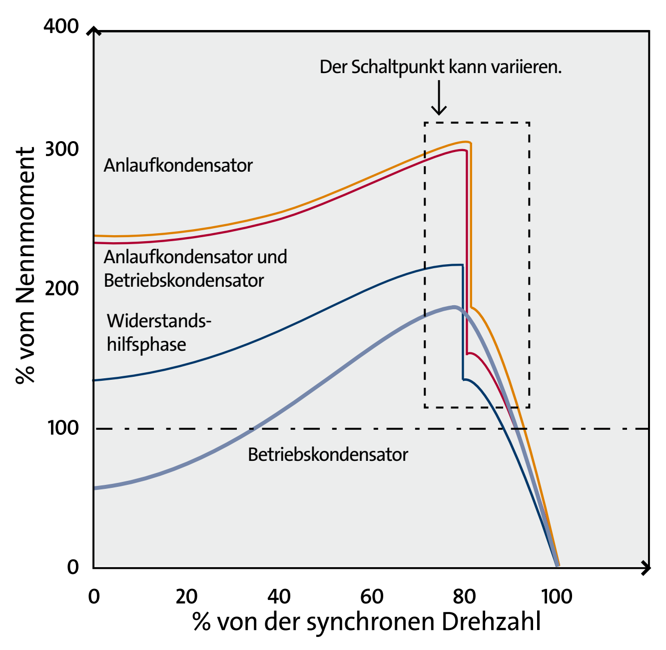


Die Pole ändern ihre Polarität einmal pro Zyklus.

Grundausführungen einphasiger Induktionsmotoren

Theoretisch könnte ein einphasiger Motor durch mechanisches Ankurbeln und sofortiges Anlegen einer Spannung anlaufen. In der Praxis erfolgt das Anlaufen jedoch automatisch. Dabei gibt es verschiedene automatische Anlaufhilfen.
Häufig werden die einphasigen Induktionsmotoren nach der verwendeten Anlaufhilfe benannt. Es gibt vier grundsätzliche Anlaufhilfen: Anlaufkondensator, Anlaufkondensator und Betriebskondensator, Widerstandshilfsphase und Betriebskondensator.

Die Abbildung rechts oben zeigt die typischen Drehmoment-/Drehzahlkurven der vier grundlegenden einphasigen Wechselstrommotoren.



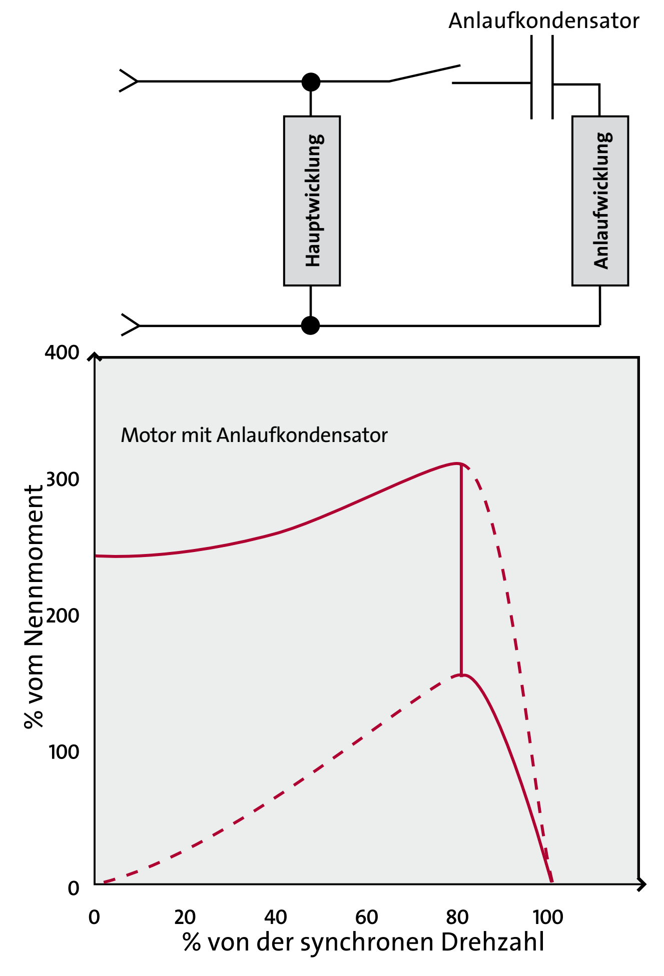
Funktionsdiagramm: Drehmoment-/ Drehzahlkurven der vier Hauptarten einphasiger Wechselstrommotoren

Einphasenmotoren mit Anlaufkondensator

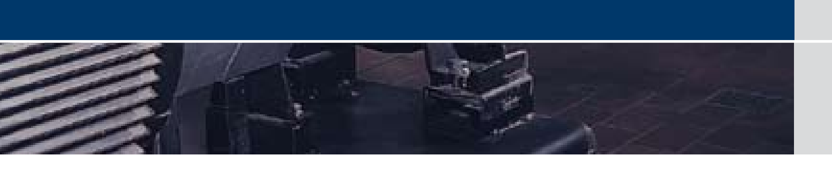
Die Elektromotoren mit Anlaufkondensator bilden die größte Gruppe der einphasigen Motoren.

Diese Motoren sind in Größen von sehr kleinen Leistungen bis 1,1 kW erhältlich. Motoren mit Anlaufkondensator haben einen speziellen Kondensator, der in Reihe mit der Anlaufwicklung geschaltet ist. Der Kondensator sorgt für eine kleine Verzögerung zwischen dem Stromfluss in der Anlauf- und Hauptwicklung. Dadurch erfolgt ein verzögerter Aufbau der Magnetisierung der Anlaufwicklung. Das Ergebnis ist ein magnetisches Drehfeld, das für die Erzeugung des Drehmoments verantwortlich ist. Sobald der Motor anfängt zu drehen und langsam seine Nenndrehzahl erreicht, öffnet der Anlaufschalter. Der Motor läuft dann im Normalbetrieb mit Hilfe der Induktion weiter. Als Anlaufschalter kann ein Fliehkraftschalter oder ein elektronischer Schalter dienen.

Motoren mit Anlaufkondensator besitzen ein relativ großes Anlaufmoment, das zwischen 50 bis 250 % des Nennmoments liegt. Deshalb eignen sie sich besonders gut für Verbraucher, die nur schwer anlaufen, wie z.B. Förderbänder, Druckluftkompressoren und Kühlschränke.



Schaltbild und Drehmoment-/Drehzahlkurve eines Motors mit Anlaufkondensator



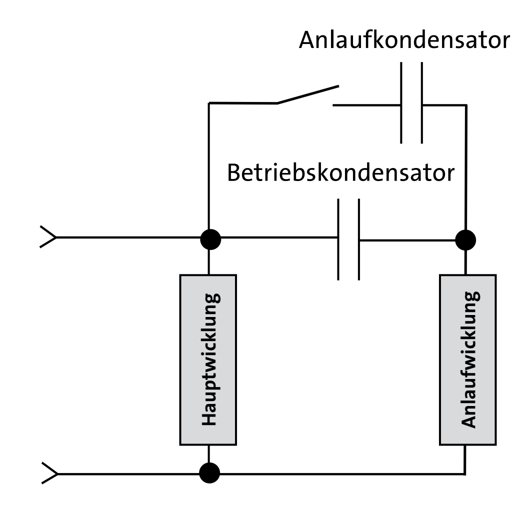
Einphasenmotoren mit Anlaufkondensator und Betriebskondensator

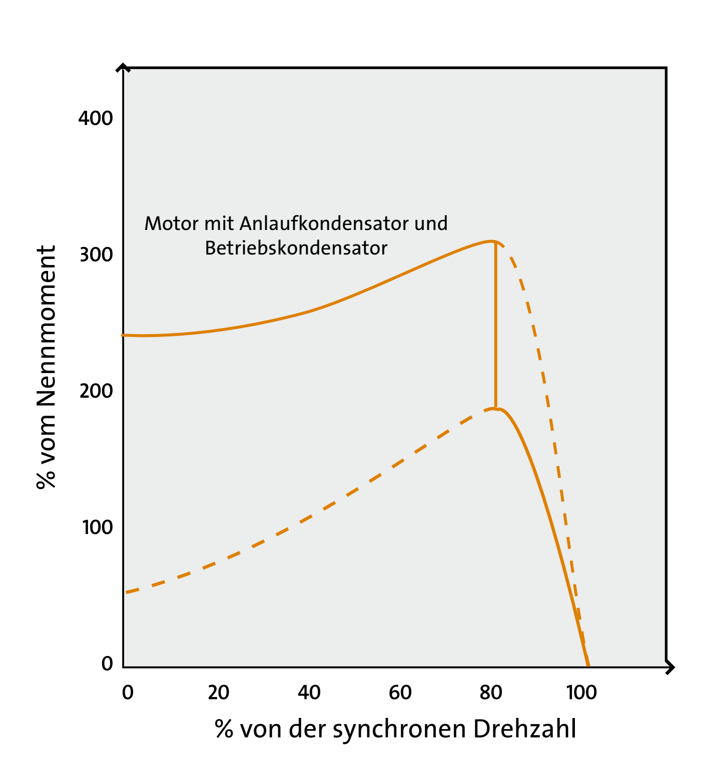
Dieser Einphasenmotor vereint die Vorteile der einphasigen Motoren mit Anlaufkondensator und der einphasigen Motoren mit Betriebskondensator. Auch wenn ihre Herstellung etwas teurer ist als die anderer einphasiger Motortypen, sind sie die beste Wahl für anspruchsvolle Anwendungen. Genauso wie der einphasige Elektromotor mit Anlaufkondensator hat dieser Motor einen mit der Anlaufwicklung in Reihe geschalteten Anlaufkondensator. Dadurch wird ein hohes Anlaufmoment erreicht.

Motoren mit Anlauf- und Betriebskondensator ähneln jedoch auch Motoren mit Betriebskondensator, weil sie ebenfalls über einen Betriebskondensator verfügen, der in Reihe mit der Anlaufwicklung geschaltet wird, sobald der Anlaufkondensator über den Anlaufschalter vom Stromkreis getrennt wird. Deshalb kann dieser Motor einem hohen Kippmoment oder Überlastmoment standhalten.

Motoren mit Anlauf- und Betriebskondensator können für geringere Volllast-Ströme und einen höheren Wirkungsgrad ausgelegt werden. Einer der daraus resultierenden Vorteile ist, dass der Motor im Betrieb kleinere Temperaturanstiege als andere, vergleichbare Einphasenmotoren aufweist.

Motoren mit Anlauf- und Betriebskondensator sind die leitsungsstärksten Einphasenmotoren. Sie können für recht anpruchsvolle Anwendungen eingesetzt werden, wie z.B. Hochdruck-Wasserpumpen, Vakuumpumpen und andere Anwendungen mit hohem Drehmomentbedarf. Die Leistung dieser Motoren beträgt in der Regel 1,1 bis 11 kW.





Schaltbild und Drehmoment-/Drehzahlkurve eines Motors mit Anlauf- und Betriebskondensator

Einphasenmotoren mit Widerstandshilfsphase

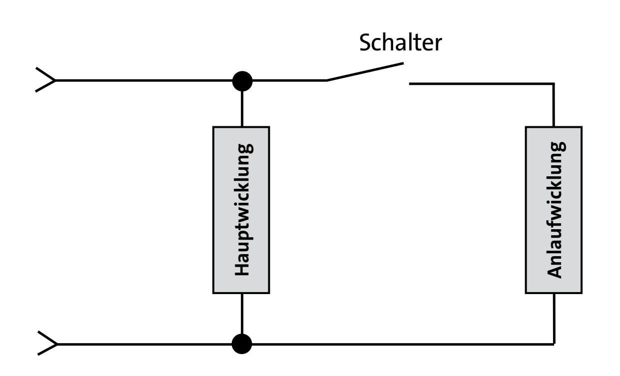
Dieser Motorentyp wird auch als Motor mit geteilter Wicklung bezeichnet. Diese Motoren sind in der Regel günstiger als andere, in der Industrie eingesetzte Einphasenmotoren, unterliegen im Hinblick auf die Leistung aber auch gewissen Einschränkungen.

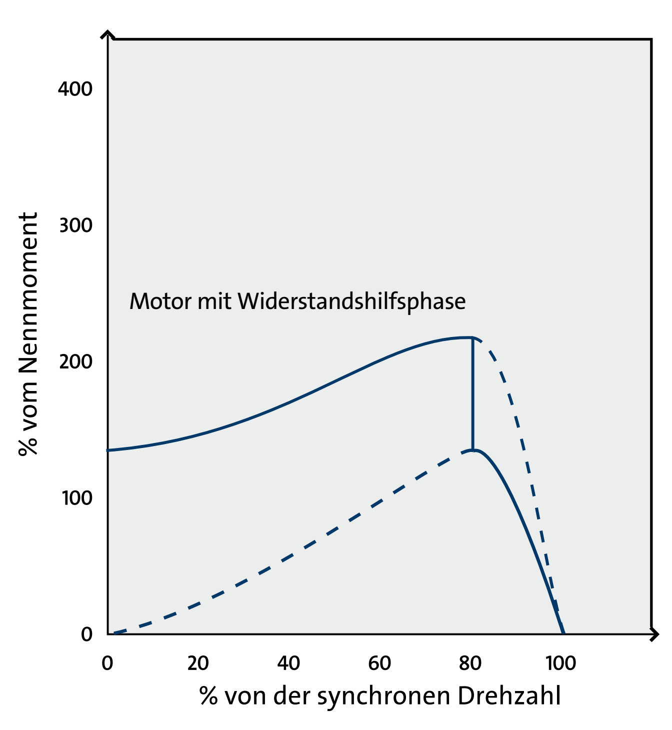
Die Anlaufvorrichtung dieses Motors besteht aus zwei getrennten Wicklungen im Stator. Eine davon wird ausschließlich zum Anlaufen genutzt und ist mit einem Draht mit dünnerem Querschnitt gewickelt, der somit über einen entsprechend höheren elektrischen Widerstand verfügt als die Hauptwicklungen. Dadurch ergibt sich für das Drehfeld eine Zeitverzögerung, die wiederum für das Anlaufen des Motors sorgt. Ein Fliehkraftschalter oder elektronischer Schalter trennen die Anlaufwicklung, sobald der Motor ca. 75 % seiner Nenndrehzahl erreicht. Der Motor läuft dann im Normalbetrieb nach dem Funktionsprinzip eines Standard-Induktionsmotors weiter.

Wir bereits weiter oben erwähnt, gelten für die Motoren mit Widerstandshilfsphase einige Einschränkungen. Ihr Anlaufmoment ist gering und liegt meistens zwischen 50 bis 150 % der Nennlast. Zudem entwickelt der Motor hohe Anlaufströme, die ca. 700 bis 1000 % des Nennstroms betragen. Übermäßig lange Anlaufphasen führen aus diesem Grund zu einer Überhitzung der Anlaufwicklung und zu ihrem Ausfall. Deshalb sollte dieser Motortyp nicht in Anwendungen eingesetzt werden, die ein hohes Anlaufmoment erfordern.

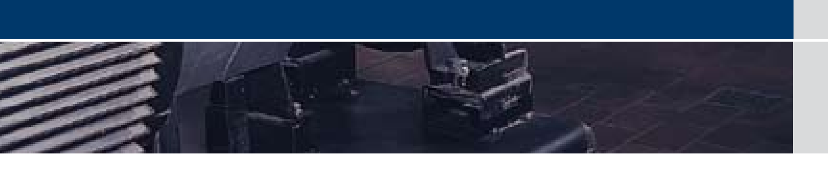
Motoren mit Widerstandshilfsphase sind für einphasige Spannungen konzipiert, wodurch der Bereich der möglichen Anwendungen naturgemäß begrenzt ist. Ihr maximales Drehmoment im Betrieb reicht von 100 bis 250 % des Nennmoments. Weiterhin muss erwähnt werden, dass ein Schutz vor Überhitzung nur schwer zu realisieren ist, weil es nur wenige Schutzvorrichtungen gibt, die schnell genug auslösen, um ein Durchbrennen der Anlaufwicklung zu verhindern.

Motoren mit Widerstandshilfsphase sind bestens geeignet für kleine Schleifmaschinen, Lüfter und andere Anwendungen mit geringen Anforderungen an das Anlaufmoment und die Leistung, wobei der





Schaltbild und Drehmoment-/Drehzahlkurve eines Motors mit Widerstandshilfsphase



Leistungsbereich bei ca. 0,06 bis 0,25 kW liegen sollte. Sie sind nicht geeignet für Anwendungen, die ein hohes Drehmoment oder eine hohe Zahl an Lastwechseln erfordern.

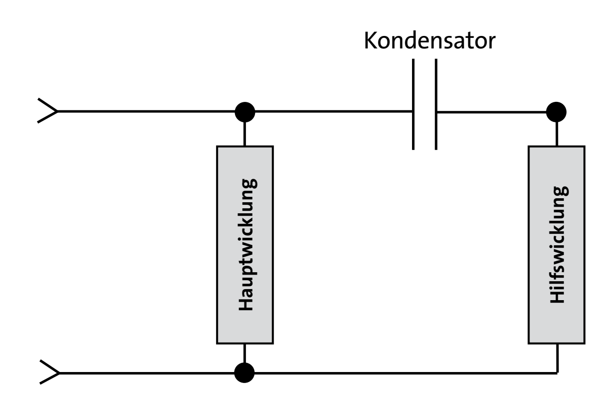
Einphasenmotoren mit Betriebskondensator

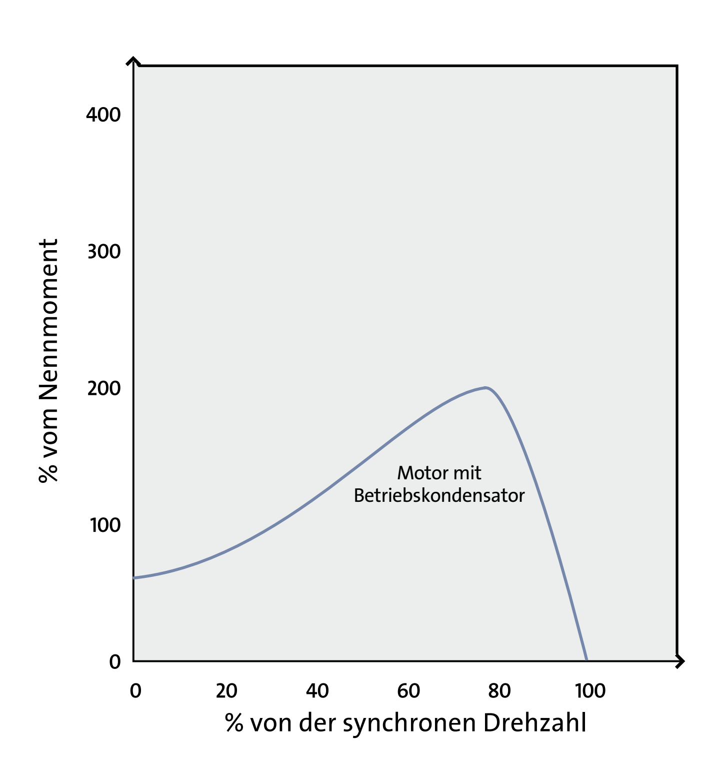
Wie es der Name bereits ausdrückt, besitzen Motoren mit einem Betriebskondensator einen mit der Hilfswicklung in Reihe geschalteten Betriebskondensator, der während des Betriebs permanent mit der Hilfswicklung verbunden bleibt. Sie haben somit keinen Anlaufschalter oder Kondensator, der nur zum Anlaufen genutzt wird. Damit wird die Anlaufwicklung zur Hilfswicklung, wenn der Motor seine Betriebsdrehzahl erreicht hat.

Bedingt durch die Konstruktion des Motors mit Betriebskondensator kann dieser nicht denselben Anfangsschwung liefern wie Motoren mit getrennten Kondensatoren. Sein Anlaufmoment ist ziemlich gering und liegt zwischen 30 bis 90 % der Nennlast, so dass dieser Motor nicht für Anwendungen eingesetzt werden kann, die nur schwer anlaufen. Dieser Nachteil wird jedoch ausgeglichen durch seinen niedrigen Anlaufstrom, der in der Regel nur 200 % der Nennstrombelastung beträgt. Damit ist dieser Motor besonders gut geeignet für Anwendungen mit vielen Lastwechseln.

Motoren mit Betriebskondensator bieten zahlreiche Vorteile. Ihre Leistung und Drehzahl z.B. können an besondere Anforderungen angepasst werden. Zudem können sie auf optimalen Wirkungsgrad und einen hohen Leistungsfaktor bei Nennlast ausgelegt werden. Da diese Motoren keine Anlaufvorrichtung benötigen, kann ihre Drehrichtung einfach umgekehrt werden. Und sie sind die zuverlässigsten Einphasenmotoren. Deshalb verwendet Grundfos standardmäßig die Einphasenmotoren mit Betriebskondensator für alle Anwendungen. Dies gilt für Leistungen bis 2,2 kW bei 2-poligen Motoren und bis 1,5 kW bei 4-poligen Motoren.

Einphasenmotoren mit Betriebskondensator können je nach Bauweise für viele unterschiedliche Anwendungen eingesetzt werden. Geräte mit geringer Trägheitslast, wie z.B. Lüfter und Pumpen, sind ein gutes Beispiel hierfür.

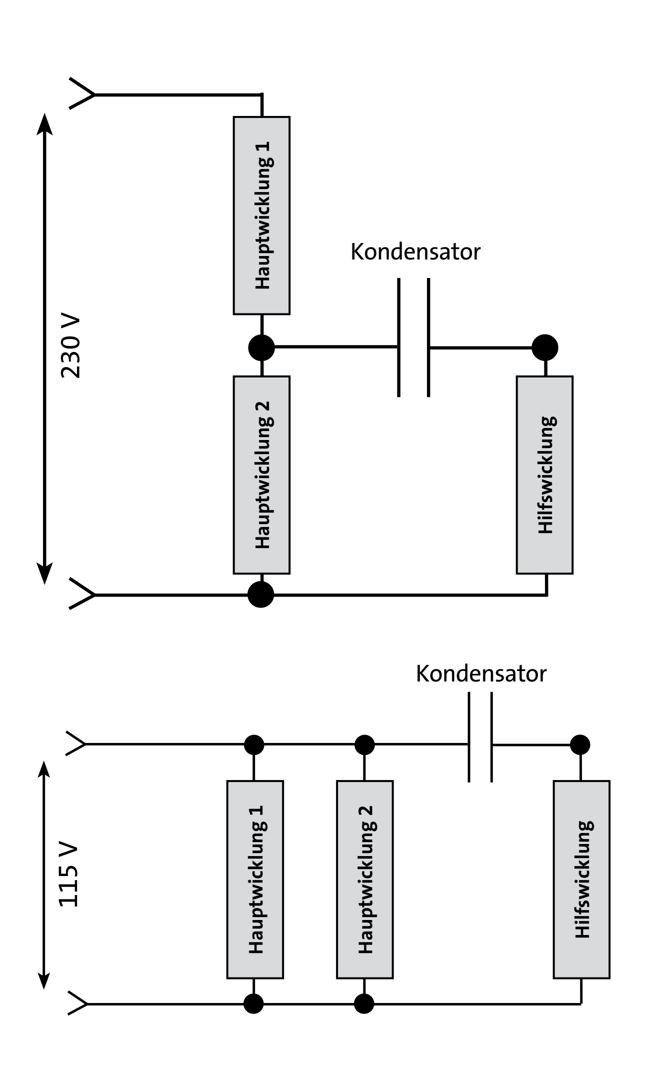




Schaltbild und Drehmoment-/Drehzahlkurve eines Motors mit Betriebskondensator

Spannungsumschaltbare Einphasenmotoren

Spannungsumschaltbare Einphasenmotoren besitzen zwei Hauptwicklungen, eine Hilfswicklung und einen Betriebskondensator. Sie werden häufig in den USA eingesetzt, wo einphasige Motoren entweder mit einer Spannung von 1 x 115 V/60 Hz oder 1 x 230 V/60 Hz betrieben werden. Je nach elektrischem Anschluss kann dieser Motortyp mit beiden Spannungen laufen.



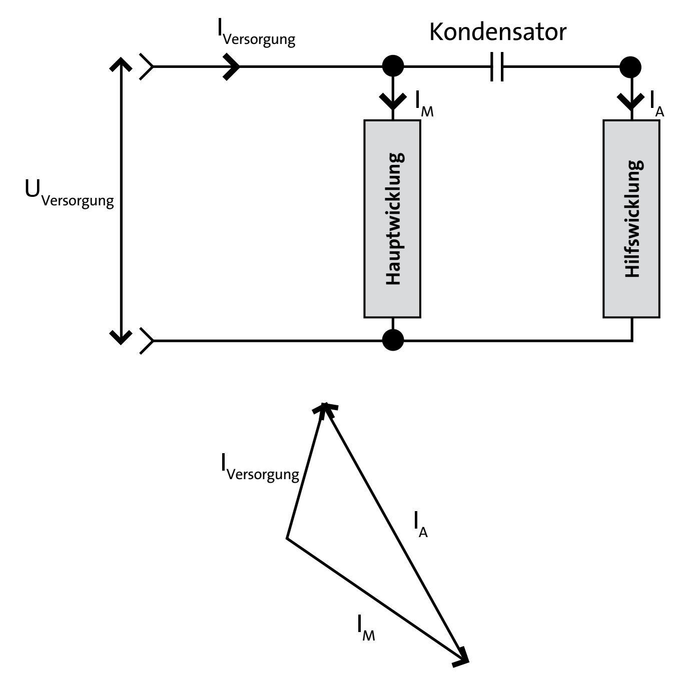
Schaltbilder eines spannungsumschaltbaren Motors für den Anschluss an eine hohe und niedrige Spannung



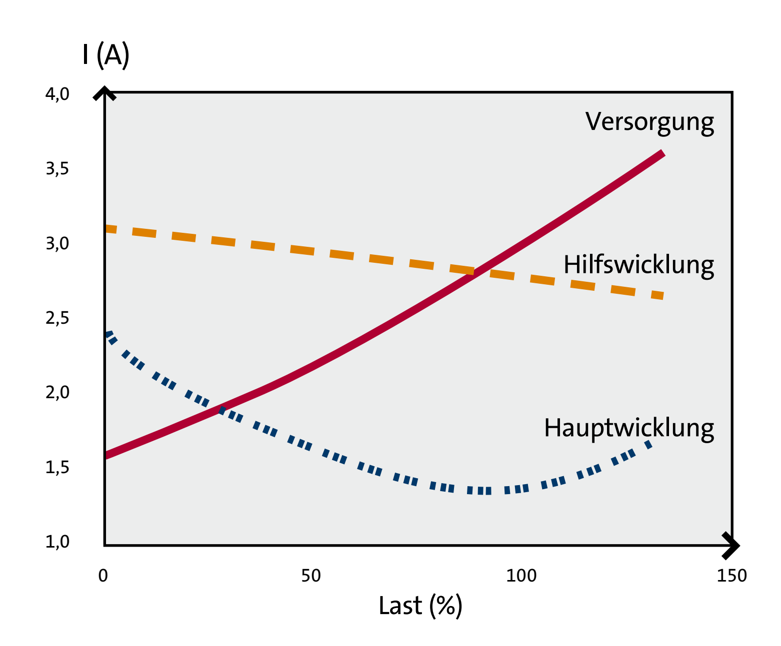
Besonderheiten

Im Gegensatz zu dreiphasigen Motoren sind bei einphasigen Motoren einige Besonderheiten zu beachten. Einphasenmotoren dürfen z.B. niemals im Leerlauf laufen, weil sie bei geringer Last sehr warm werden. Deshalb wird empfohlen, einphasige Motoren nicht mit einer Last unterhalb von 25 % der Nennlast zu betreiben.

Motoren mit Betriebskondensator und Motoren mit Anlauf- und Betriebskondensator haben nur an einem Lastanwendungspunkt ein symmetrisches, kreisrundes Drehfeld. Das bedeutet, dass an allen anderen Lastanwendungspunkten das Drehfeld unsymmetrisch/elliptisch ist. Läuft der Motor mit einem unsymmetrischen Drehfeld, ist der Strom in einer oder beiden Wicklungen ggf. größer als der Netzstrom. Diese Ströme führen zu einem hohen Verlust, so dass eine oder beide Wicklungen (insbesondere bei Nulllast) zu warm werden, auch wenn der Netzstrom relativ gering ist. Siehe Beispiele auf der rechten Seite.



Beispiel eines unsymmetrischen Betriebs, bei dem der Strom in den beiden Phasen größer als der Netzstrom ist.



Beispiel der Stromverläufe als Funktion der Last. Es ist zu beachten, dass die Ströme in der Betriebs- und Anlaufphase größer als der Netzstrom bei Nulllast sind.

Anmerkungen zur Spannung

Es ist zu beachten, dass im Innern des Motors höhere Spannungen auftreten können als die Netzspannung. Dies gilt auch für den symmetrischen Betrieb. Siehe Beispiel auf der rechten Seite.

Spannungsvarianten

Es muss beachtet werden, dass einphasige Motoren in der Regel nicht in einem so großen Spannungsbereich betrieben werden können wie Drehstrommotoren. Deshalb ist es erforderlich, spezielle Motorvarianten herzustellen, die für alternative Spannungen geeignet sind. Dazu sind auch Änderungen in der Konstruktion erforderlich, wie z.B. der Einsatz alternativer Wicklungen und unerschiedlicher Kondensatorgrößen. Theoretisch ändert sich die Größe des Kondensators bei Verwendung des Motors für eine andere Netzspannung (bei gleicher Frequenz) mit dem Quadrat des Spannungsverhältnisses:

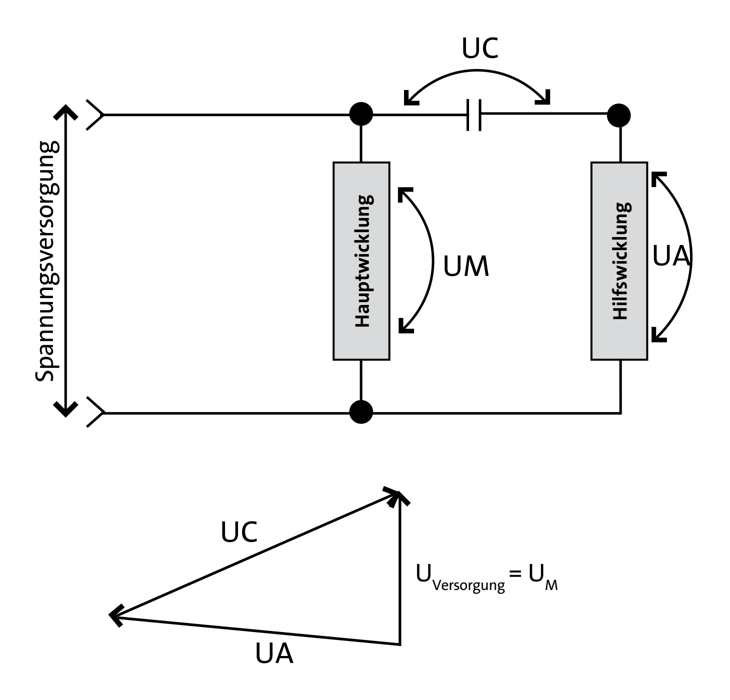
C = Kondensatorkapazität
U = Spannung

$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2$$

Beispiel: Ist der für eine Netzspannung von 230 V ausgelegte Motor mit einem Kondensator der Größe 25 µF/400 V ausgestattet, benötigt die Motorausführung für 115 V Netzspannung einen Kondensator mit einer Kapazität von 100 µF, der zudem mit einer niedrigeren Spannung (z.B. 200 V) gekennzeichnet ist.

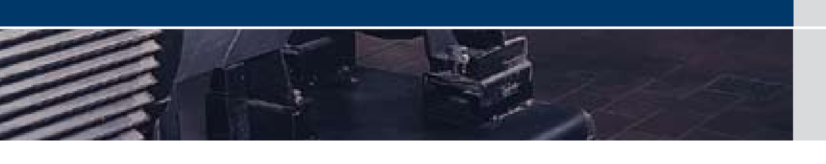
$$\frac{C_2}{C_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \Rightarrow C_2 = C_1 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \Rightarrow C_2 = 25\mu F \cdot \left(\frac{230V}{115V}\right)^2 = 100\mu F$$

In der Praxis ist jedoch aus Kosten- und Platzgründen ggf. der Einbau eines kleineren Kondensators mit z.B. 60 µF erforderlich. In diesen Fällen müssen die Wicklungen angepasst werden, um auf den entsprechenden Kondensator abgestimmt zu werden. Dennoch ist zu beachten, dass die Leistungscharakteristik des Motors schlechter als mit einem 100-µF-Kondensator ist. So ist z.B. das Anlaufmoment kleiner.



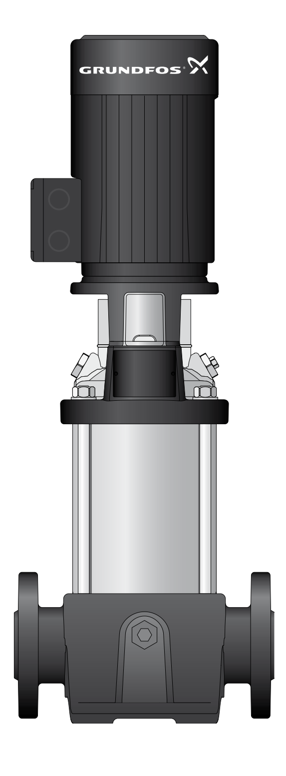
Beispiel der Spannungsverteilung im Innern eines Einphasenmotors.
Bei einer Versorgungsspannung von UVersorgung = 230 V können die Spannungen folgende Werte annehmen:
UC =370 V und UA = 290 V

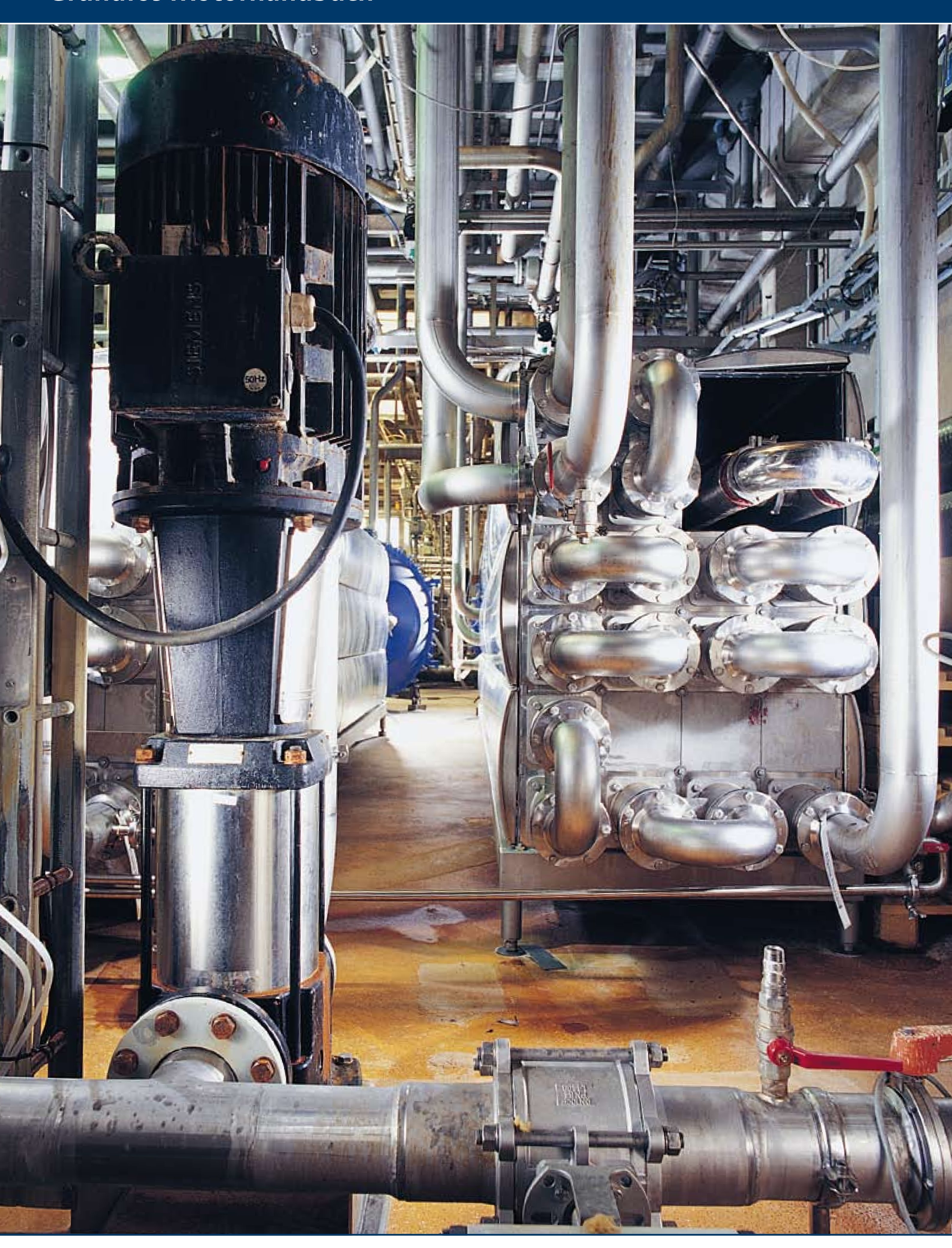




Zusammenfassung

Wie gezeigt, arbeiten Einphasenmotoren nach demselben Funktionsprinzip wie Drehstrommotoren. Sie besitzen jedoch ein geringeres Anlaufmoment und arbeiten mit kleineren Spannungen (110 V - 240 V) als dreiphasige Motoren. Zudem benötigen einphasige Motoren eine Anlaufhilfe. Ein Umstand der zu zahlreichen verschiedenen Motortypen führt. Der am häufigsten von Grundfos eingesetzte Einphasenmotor ist der Motor mit Betriebskondensator, weil er am wenigsten Wartung erfordert und weil Pumpen keine hohen Anlaufmomente benötigen.
Einphasenmotoren dürfen jedoch niemals im Leerlauf laufen, weil bei geringer Last die Temperatur im Motor stark ansteigt und es dadurch zu Ausfällen kommen kann. Deshalb sollten einphasige Motoren nicht mit einer Last unterhalb von 25 % der Volllast betrieben werden.




SIEMENS
50Hz

3. Motordrehmoment und Motorleistung



Motordrehmoment und -leistung

In diesem Kapitel wird der Begriff Drehmoment ausführlich behandelt: Was bedeutet Drehmoment und wofür wird das Drehmoment benötigt. Zudem werden die für Pumpenanwendungen wichtigen Belastungsarten erläutert und beschrieben, wie Motoren und Förderlast aufeinander abgestimmt werden.

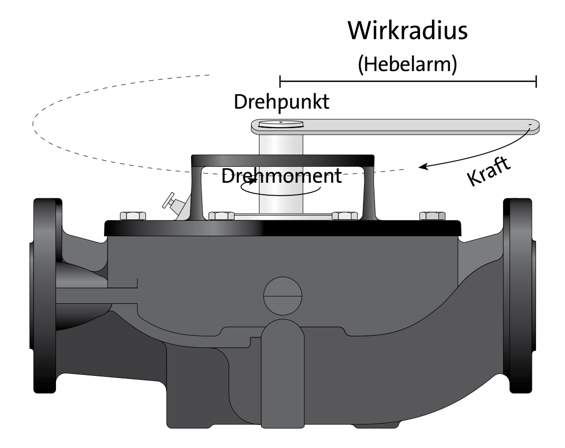
Haben Sie schon einmal versucht, die Welle einer nicht mit Flüssigkeit gefüllten Pumpe mit der Hand zu drehen? Versuchen Sie jetzt, sich vorzustellen, die Welle zu drehen, wenn die Pumpe mit Wasser gefüllt ist. Sicherlich werden Sie bei diesem Gedankenspiel feststellen, dass Sie nun mehr Kraft aufwenden müssen, um das erforderliche Drehmoment aufzubringen.

Jetzt müssen Sie sich nur noch vorstellen, die Welle der Pumpe für mehrere Stunden zu drehen. Sie werden schneller ermüden, wenn Sie die mit Wasser gefüllte Pumpe antreiben müssten und Sie werden bemerken, dass Sie mehr Energie über dieselbe Zeit aufwenden müssten, als wenn die Pumpe nicht mit Wasser gefüllt wäre. Das bedeutet in der Praxis: Es wird eine größere Leistung benötigt. Die Leistung ist dabei ein Maß für die innerhalb einer bestimmten Zeit aufgewendete Energie. Die Leistung eines Standardmotors wird in der Regel in kW angegeben. Das Drehmoment und die Leistung sind die bestimmenden Größen eines Motors. Deshalb werden wir uns in diesem Kaptitel hauptsächlich mit diesen beiden Begriffen befassen.

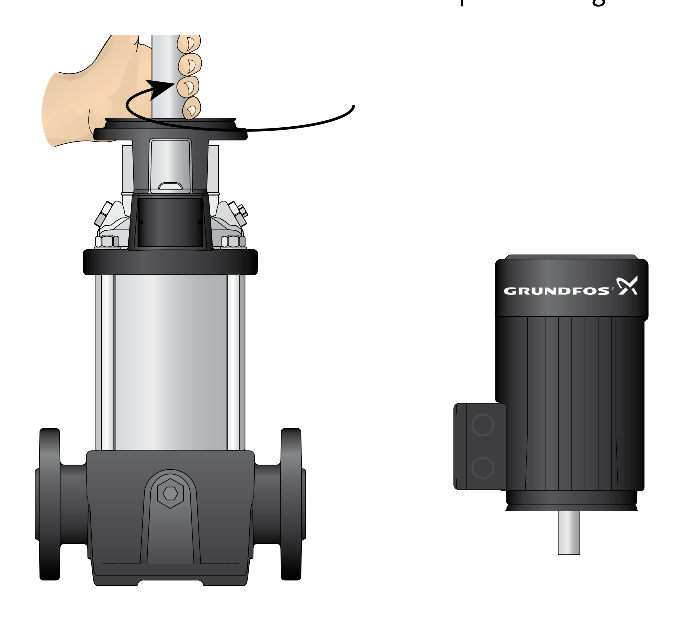
Drehmoment (M) ist das Produkt aus Kraft und Hebelarm. In Europa wird das Drehmoment in Nm angegeben.

Drehmoment = Kraft x Hebelarm ($M = F \cdot r$)

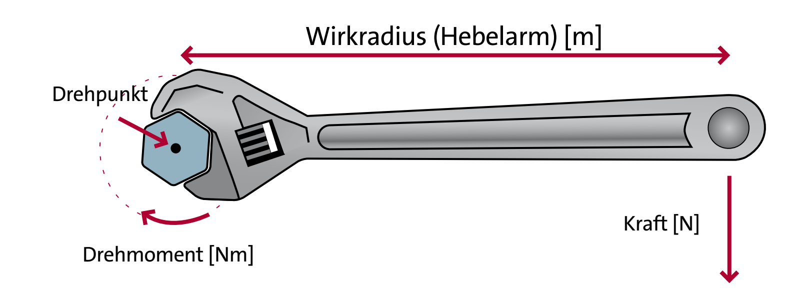
Wie aus der Gleichung ersichtlich, erhöht sich das Drehmoment, wenn entweder die Kraft oder der Hebelarm - oder auch beide - zunehmen. Wird z.B. eine Kraft von 10 N - dies entspricht einem Gewicht von 1 kg - über einen Hebelarm (Wirkradius) von 1 m auf eine Welle aufgebracht, beträgt das resultierende Drehmoment 10 Nm. Wird die Kraft auf 20 N oder 2 kg erhöht, steigt das Drehmoment auf 20 Nm. Das Drehmoment würde ebenfalls 20 Nm betragen, wenn der Hebel - und damit der Wirkradius - bei einer Kraft von 10 N 2 m statt 1 m lang wäre. Im Umkehrschluss

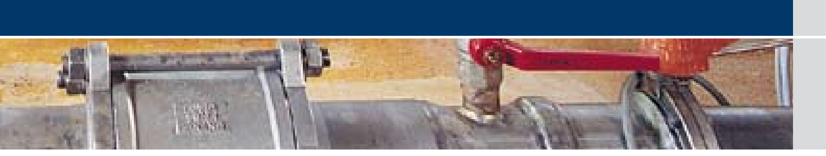


Das Drehmoment ist eine Drehkraft, die bestimmte Objekte rotieren lässt. Wird z.B. eine Kraft auf das Ende einer Welle aufgebracht, wird eine Drehbewegung oder ein Drehmoment am Drehpunkt erzeugt.



Drehmoment = Kraft x Hebelarm



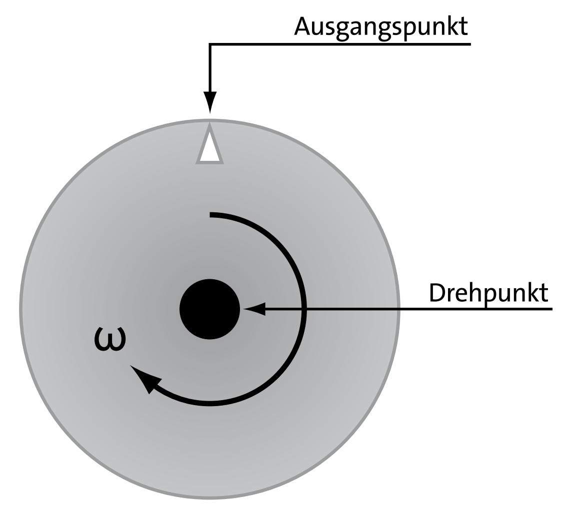


muss für ein Drehmoment von 10 Nm bei einem Hebelarm von 0,5 m eine Kraft von 20 N aufgewendet werden.

Arbeit und Leistung

Im Folgenden wollen wir uns jetzt dem Begriff „Arbeit“ zuwenden, der in diesem Zusammenhang eine spezielle Bedeutung hat. Arbeit wird immer dann geleistet, wenn durch eine Kraft - und zwar jede beliebige Kraft - eine Bewegung ausgelöst wird. Arbeit ergibt sich aus dem Produkt Kraft mal Abstand. Bei einer linearen Bewegung wird die Leistung als verrichtete Arbeit zu einem betimmten Zeitpunkt ausgedrückt.
Bei einer Kreisbewegung ist die Leistung gleich dem Drehmoment (M) mal der Winkelgeschwindigkeit (ω).

$$P = M \cdot \omega$$



Die Geschwindigkeit eines rotierenden Gegenstands ist definiert als die Zeit, die ein vorgegebener Punkt auf dem rotierenden Gegenstand für eine komplette Umdrehung bis zum Erreichen des Ausgangspunkts benötigt. Die Winkelgeschwindigkeit wird in der Regel in Umdrehungen pro Minute (min^{-1} oder U/min) angegeben. Führt der Gegenstand z.B. 10 vollständige Umdrehungen in einer Minute durch, beträgt seine Winkelgeschwindigkeit 10 min^{-1} oder 10 U/min.

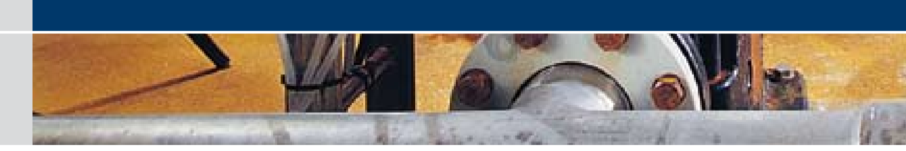
Die Winkelgeschwindigkeit bzw. die Drehzahl wird somit in Umdrehungen pro Minute (min^{-1}) gemessen.
In der Praxis werden häufig die folgenden Gleichungen verwendet, bei denen die Umrechnungsfaktoren für die gebräuchlichen Einheiten bereits eingearbeitet sind.

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Drehmoment} \cdot \text{Drehzahl}}{\text{Konstante}}$$

$$\text{kW} = \frac{\text{Nm} \cdot \text{min}^{-1}}{9550}$$

$$\text{Nm} = 9550 \cdot \frac{\text{kW}}{\text{min}^{-1}}$$





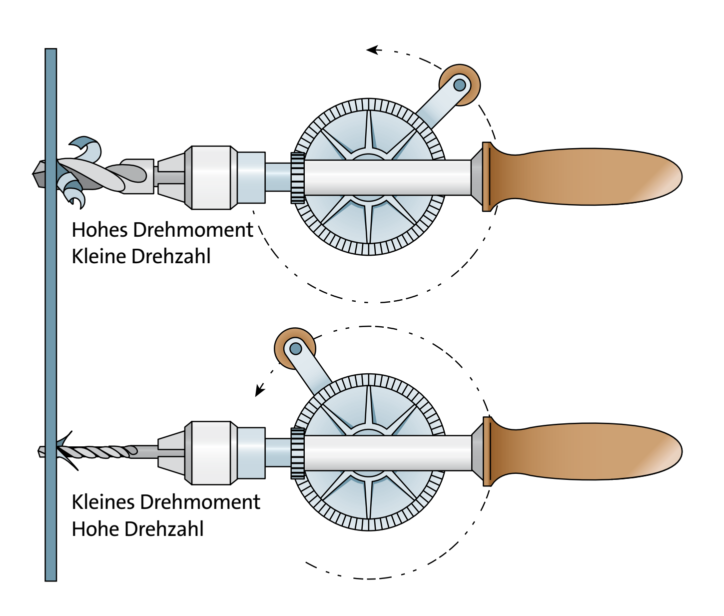
Arbeit und Leistung

Zur Veranschaulichung betrachten wir zwei unterschiedliche Motoren, um den Zusammenhang zwischen Leistung, Drehmoment und Drehzahl zu verdeutlichen. Auch wenn das Drehmoment und die Drehzahl der Motoren stark voneinander abweichen, kann ihre Leistung gleich sein. Vergleichen wir z.B. einen 2-poligen Motor, der eine Drehzahl von 3000 min^{-1} besitzt, mit einem 4-poligen Motor, der mit 1500 min^{-1} dreht. Beide Motoren haben eine Leistung von 3,0 kW, aber unterschiedliche Drehmomente.

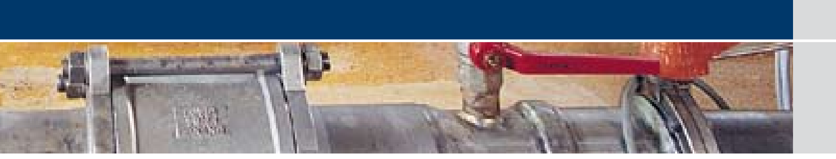
$$M_{2\text{-polig}} = \frac{3}{3000} \cdot 9550 = 9{,}55 \text{ Nm}$$

$$M_{4\text{-polig}} = \frac{3}{1500} \cdot 9550 = 19{,}1 \text{ Nm}$$

Damit hat ein 4-poliger Motor das doppelte Drehmoment wie ein 2-poliger Motor gleicher Leistung.



Gleiche Leistung, aber unterschiedliches Drehmoment



Woher kommen Drehmoment und Drehzahl?

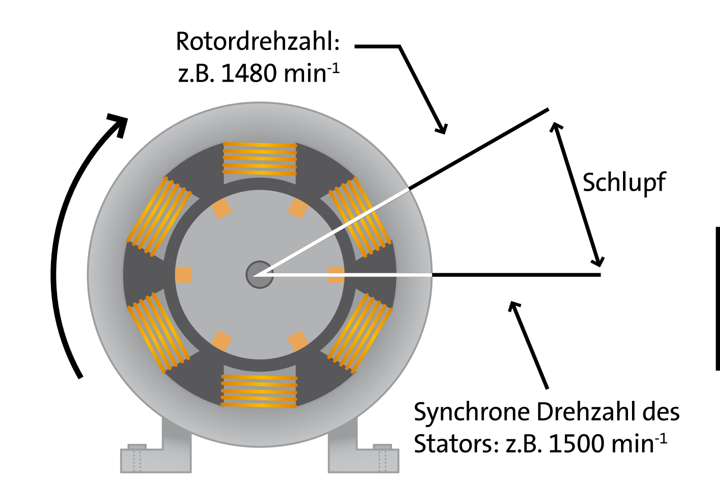
Nachdem wir nun die Begriffe Drehmoment und Drehzahl erläutert haben, wollen wir zeigen, wie beides in der Praxis erzeugt wird - z.B. zum Antreiben einer Pumpe durch einen Motor.

Bei Wechselstrommotoren werden das Drehmoment und die Drehzahl durch die Wechselwirkung zwischen dem Rotor und dem magnetischen Drehfeld erzeugt. Das Magnetfeld um die Leiterschleifen des Rotors versucht mit dem Magnetfeld des Stators gleich zu ziehen. Doch im tatsächlichen Betrieb hinkt die Rotordrehzahl immer etwas hinter dem Magnetfeld des Stators hinterher. Das ermöglicht dem Magnetfeld des Rotors das Magnetfeld des Stators zu kreuzen und dadurch das Drehmoment zu erzeugen. Dieser Drehzahlunterschied zwischen dem Rotor- und Stator-Magnetfeld wird als **Schlupf** bezeichnet und in % gemessen. Schlupf ist ein wichtiger Faktor, der für die Erzeugung des Drehmoments unbedingt erforderlich ist. Je höher die Last ist, die ein Motor zu bewältigen hat, desto größer ist auch der Schlupf.

Mit diesem Hintergundwissen wenden wir uns nun den Gleichungen zu, die diesen Sachverhalt mathematisch ausdrücken. Das Drehmoment eines Wechselstrom-Induktionsmotors ist abhängig von der Stärke des Rotor- und Statormagnetfelds sowie von der Phasenverschiebung beider Magnetfelder. Der Zusammenhang wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$\text{Drehmoment} = \text{Konstante} \cdot \text{Stärke des Magnetfelds} \cdot \text{Rotorstrom}$$

Die Stärke des Magnetfelds hängt hauptsächlich von der Gestaltung des Stators und des zum Bau des Stators verwendeten Werkstoffs ab. Aber auch die Spannung und Frequenz spielen eine wichtige Rolle. Die Beziehung zwischen Spannung und Drehmoment ist quadratisch. Nimmt also die angelegte Spannung um 2 % ab, reduziert sich das Drehmoment um 4 %.



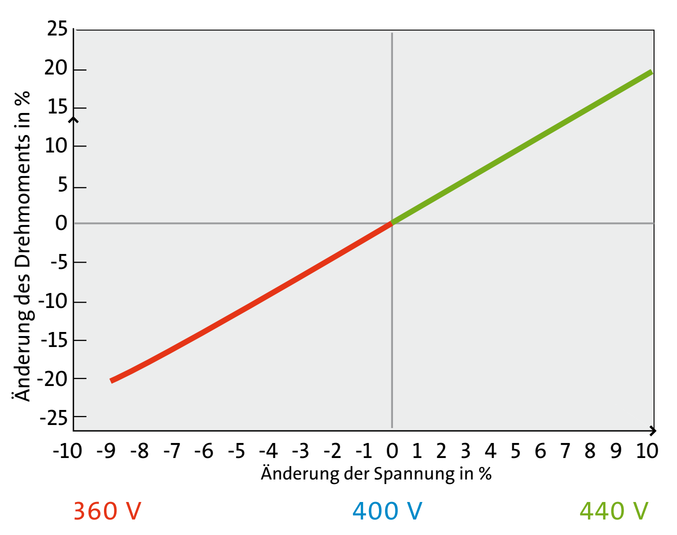
Schlupf ist ein wichtiger Faktor, der für die Erzeugung des Drehmoments unbedingt erforderlich ist.

$$\text{Schlupf} = \frac{\text{Synchrone Drehzahl} - \text{Rotordrehzahl}}{\text{Synchrone Drehzahl}} \cdot 100\ \%$$

$$\text{Schlupf} = \frac{1500\ \text{min}^{-1} - 1480\ \text{min}^{-1}}{1500\ \text{min}^{-1}} \cdot 100\ \%$$

$$\text{Schlupf} = 1{,}3\ \%$$

$$\left(\frac{\text{Spannung}_2}{\text{Spannung}_1}\right)^2 = \frac{\text{Drehmoment}_2}{\text{Drehmoment}_1}$$



Abhängigkeit des Drehmoments von der Spannung



Leistungsaufnahme

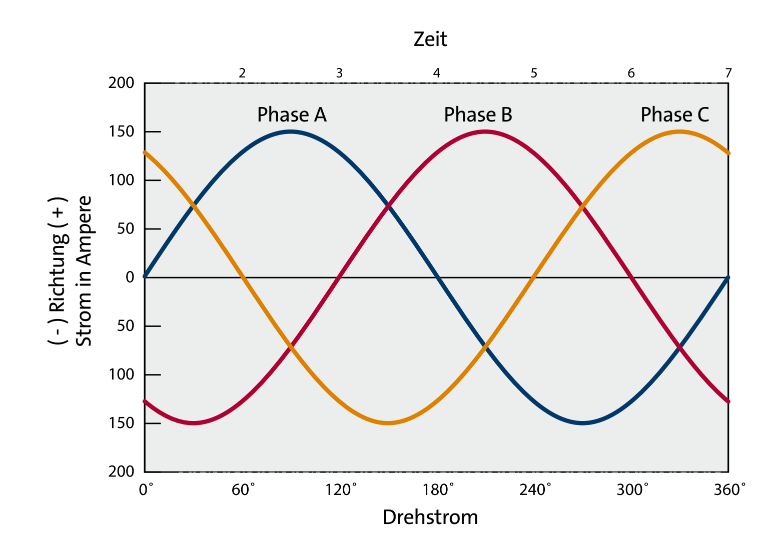
Aus den vorherigen Ausführungen ist ersichtlich, dass das Drehmoment und die Drehzahl - und damit die Leistung - mit der Wechselstromtheorie verknüpft werden kann: Der Rotorstrom wird durch die an den Motor angelegte Spannung induziert, wobei das dazu erforderliche Magnetfeld zum Teil durch die Spannung aufgebaut wird. Die Leistungsaufnahme kann berechnet werden, wenn die Daten zur Spannungsversorgung des Motors bekannt sind. Dies sind im Einzelnen die Spannung, der den Strom mindernde Leistungsfaktor und der Wirkungsgrad.

In Europa wird die Wellenleistung in der Regel in Kilowatt (kW) und in den USA in Pferdestärke (PS) angegeben.

Die Umrechung von PS in kW erfolgt durch Multiplizieren des entsprechenden in PS angegebenen Werts mit 0,746. Beispielsweise entsprechen 20 PS einer Leistung von 13,92 kW (20 • 0.746 = 14,92).

Umgekehrt lassen sich Angaben in kW durch Multiplizieren mit dem Faktor 1,341 ganz einfach in PS umrechnen. Beispiel: 15 kW entsprechen somit 20,11 PS.

Die Leistung der Grundfos Motoren für den europäischen und asiatischen Markt werden in kW und für den US-amerikanischen Markt in PS angegeben.



Leistungsaufnahme (P_1)

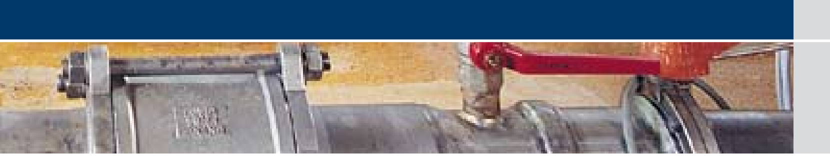
Einphasig: $kW = \frac{U \cdot I \cdot \cos \cdot \phi}{1000}$

Dreiphasig: $kW = \frac{U \cdot I \cdot \cos \cdot \phi \cdot \sqrt{3}}{1000}$

Wellenleistung (P_2)

Einphasig: $kW = \frac{U \cdot I \cdot \cos \cdot \phi \cdot \eta_{motor}}{1000}$

Dreiphasig: $kW = \frac{U \cdot I \cdot \cos \cdot \phi \cdot \sqrt{3} \cdot \eta_{motor}}{1000}$



Praktische Anwendung

Kurz zusammengefasst haben wir bisher Folgendes gelernt: Die auf die Pumpe aufgebrachte Drehkraft ist ein **Drehmoment** und keine Leistung.

Die **Leistung** [in kW oder PS] ergibt sich aus dem Zusammenwirken von **Drehmoment** und **Drehzahl** und gibt an, welche Arbeit über eine bestimmte Zeitdauer geleistet werden muss.

Zudem haben wir den Zusammenhang zwischen Drehmoment, Leistung und Drehzahl beschrieben und die Verbindung zu den elektrischen Größen Spannung und Strom hergestellt. Diese Beziehung ist bei den Grundfos Motoren einfach nachzuvollziehen. Denn Grundfos Motoren sind für dieselbe Leistung sowohl bei 50 Hz als auch bei 60 Hz ausgelegt. Bei Anlegen von 60 Hz ergibt sich daraus ein Absinken des Drehmoments: 60 Hz führt zu einem Anstieg der Umdrehungen um 20 % und damit zu einem Absinken des Drehmoments um 20 %. Während viele andere Hersteller sich für ein konstantes Drehmoment von 50 Hz bis 60 Hz entscheiden und damit die Leistung bei 60 Hz erhöhen, geht Grundfos den Weg, die Leistung konstant zu halten. Der Grund hierfür ist, den Betrieb über einen breiten Spannungsbereich sowohl für 50 Hz als auch für 60 Hz zu ermöglichen. So können viele Netzspannungen weltweit mit einem Motor abdeckt werden. Bei 50 Hz sind dies z.B. 380 - 415 V und bei 60 Hz 380 - 480 V.

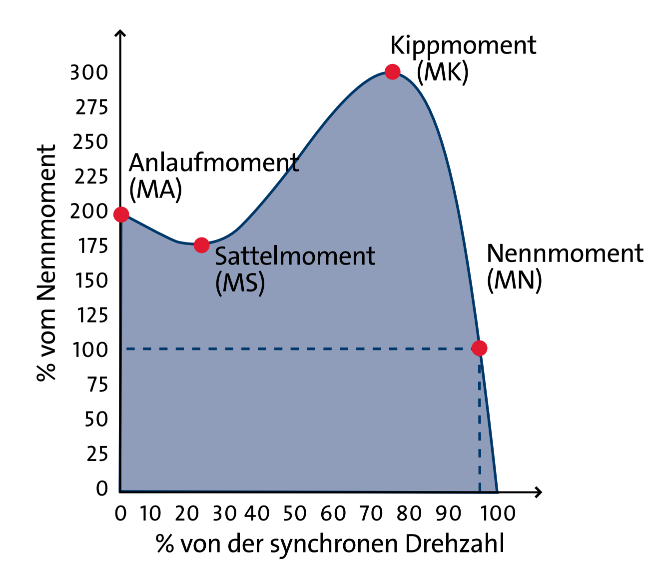
Bevor wir dazu übergehen, den Zusammenhang zwischen Förderlast und dem Motor zu beschreiben, wollen wir zunächst zeigen, wie das Motordrehmoment in der Regel dargestellt wird.

Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt eine typische Drehmoment-/Drehzahlkurve. Um eine einheitliche und durchgängige Bezeichnung der Drehmomente zu erreichen, sollen im Folgenden die einzelnen Drehmomentbegriffe kurz erläutert werden. Deshalb erfolgt auf der nächsten Seite eine Definition der unterschiedlichen Begriffe, die zur Beschreibung der Drehmomentkurve eines Wechselstrommotors erforderlich sind.

Gleiche Leistung bei 50 Hz und 60 Hz.



Grundfos Motoren sind für dieselbe Leistung sowohl bei 50 Hz als auch bei 60 Hz ausgelegt.



Drehmoment-/Drehzahlkurve für einen Wechselstrommotor



Anlaufmoment (MA) / Losbrechmoment

Das Anlaufmoment ist das Drehmoment, das erzeugt wird, wenn Spannung an einen stehenden Motor angelegt wird - d.h. wenn der Motor mit voller Spannung beaufschlagt wird, die Welle aber in ihrer Position blockiert ist. Dies ist somit das Drehmoment, das zum Anlaufen benötigt wird, d.h. um die Welle unter Last aus dem Stand zu beschleunigen.

Sattelmoment (MS):

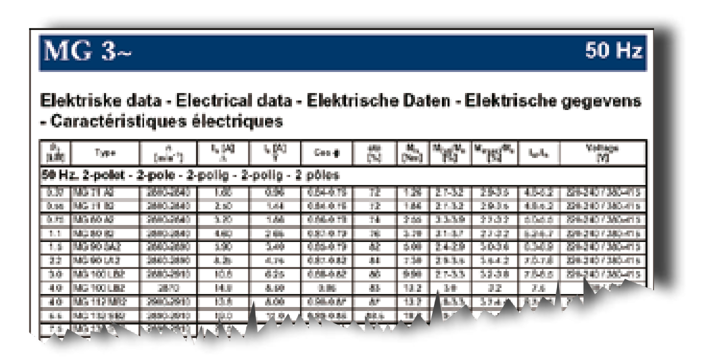
Dieser Begriff wird für den untersten Punkt der Drehmoment-/Drehzahlkurve verwendet, wenn der Motor eine Last auf volle Drehzahl beschleunigt. Die meisten Grundfos Motoren haben kein spezielles Sattelmoment, weil hier der unterste Punkt mit dem Anlaufmoment zusammenfällt. Deshalb ist für die meisten Grundfos Motoren das Sattelmoment gleich dem Anlaufmoment/Losbrechmoment.

Kippmoment (MK):

Das Kippmoment ist das maximale Drehmoment, das ein Wechselstrommotor bei Nennspannung und Anliegen der Nennfrequenz entwickelt, ohne dass die Drehzahl plötzlich abfällt. Dieses Drehmoment wird auch als maximales Drehmoment bezeichnet.

Nennmoment (MN):

Das Nennmoment ist erforderlich, um die Nennleistung bei Nenndrehzahl zu erzeugen.

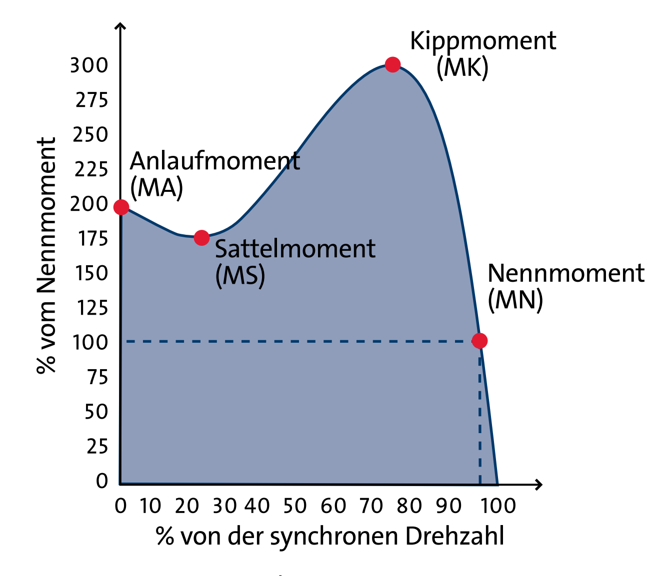


MG 3~ 50 Hz

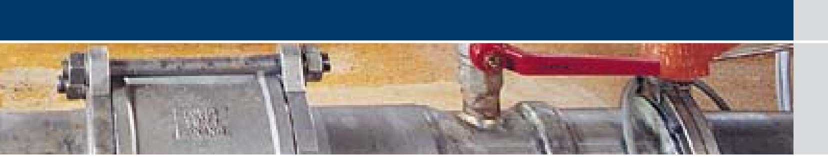
Elektriske data - Electrical data - Elektrische Daten - Elektrische gegevens - Caractéristiques électriques

50 Hz, 2-polet - 2-pole - 2-polig - 2-polig - 2 pôles

In den technischen Unterlagen der Motoren werden häufig nur das Anlaufmoment, das Kippmoment und das Nennmoment angegeben.



Drehmoment-/Drehzahlkurve für einen Wechselstrommotor

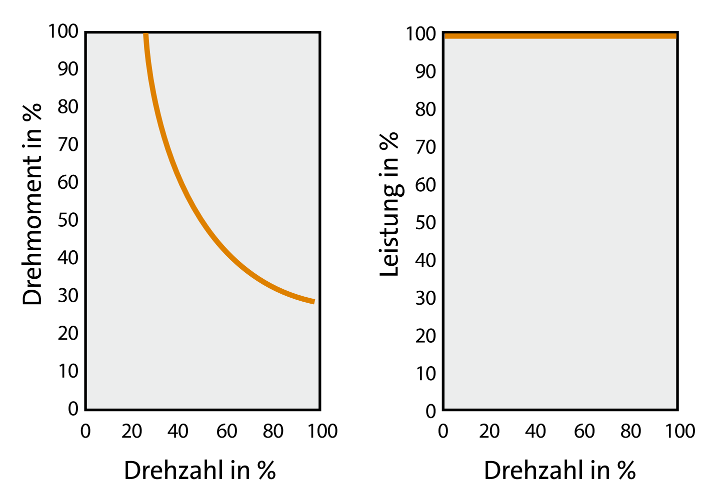


Förderlast und Belastungsarten

Bevor wir uns näher mit der Förderlast beschäftigen, wollen wir uns kurz die drei Hauptbelastungsarten ansehen. Dabei ist für Pumpenanwendungen die letzte Belastungsart am wichtigsten.

Konstante Leistung

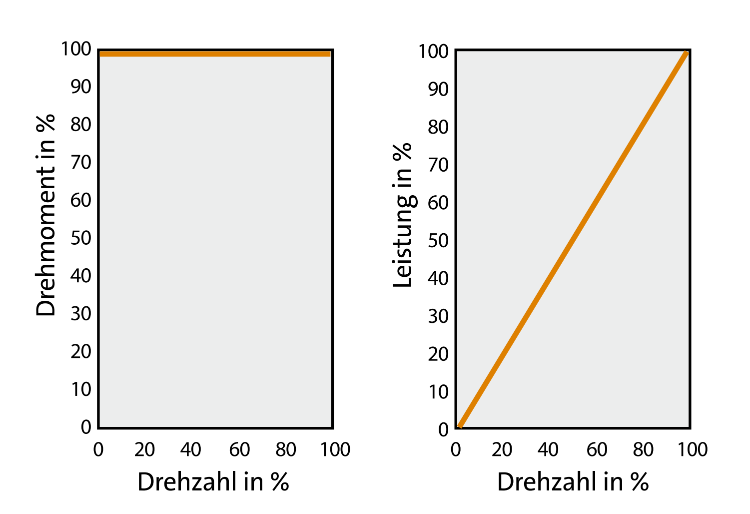
Der Begriff „konstante Leistung“ wird für die Belastungsarten verwendet, die bei zunehmender Drehzahl weniger Drehmoment und umgekehrt benötigen. Eine Belastung durch konstante Leistung ist häufig in metallverarbeitenden Fertigungsprozessen anzutreffen, wie z.B. Bohren, Fräsen, usw.



Bei steigender Drehzahl sinkt das Drehmoment und die Leistung bleibt konstant.

Konstantes Drehmoment

Wie bereits aus der Bezeichnung hervorgeht, bedeutet ein “konstantes Drehmoment”, dass das zum Antreiben einer Maschine erforderliche Drehmoment unabhängig von der Drehzahl immer konstant ist. Ein gutes Beispiel hierfür sind Förderanlagen.



Konstantes Drehmoment unabhängig von der Drehzahl

Variables Drehmoment und variable Leistung

Das „variable Drehmoment“ ist für uns die wichtigste Belastungsart. Sie ist bei Anwendungen anzutreffen, die ein geringes Drehmoment bei niedriger Drehzahl und ein hohes Drehmoment bei hoher Drehzahl erfordern. Ein typisches Beispiel für diesen Belastungsfall sind Kreiselpumpen.

Deshalb wird im Folgenden ausschließlich der Belastungsfall “Variables Drehmoment und variable Leistung” behandelt.

Nachdem bereits angemerkt wurde, dass Kreiselpumpen ein variables Drehmoment benötigen, sollten wir hier zunächst noch weitere Eigenschaften von Kreiselpumpen nennen. Der Einsatz von drehzahlgeregelten Antrieben unterliegt bestimmten physikalischen Gesetzen. In unserem Fall werden diese Gesetze als Affinitätsgesetze bzw. Ähnlichkeitsgesetze bezeichnet. Sie beschreiben die Beziehung zwischen Druck und Förderstrom.



Förderlast und Belastungsarten

Zunächst einmal ist der Förderstrom direkt proportional zur Drehzahl. D.h. dreht die Pumpe 25 % schneller, steigt der Förderstrom ebenfalls um 25 %.

Weiterhin ändert sich die Förderhöhe der Pumpe mit dem Quadrat der Drehzahländerung. Steigt die Drehzahl um 25 %, erhöht sich somit die Förderhöhe um 56 %.

Am interessantesten ist jedoch, dass sich die Leistung mit der Drehzahl hoch drei ändert. Wird die Drehzahl also um 50 % gesenkt, entspricht dies einer Reduzierung des Stromverbrauchs um 87,5 %.

Aus den Affinitätsgesetzten geht somit hervor, warum der Einsatz von drehzahlgeregelten Antrieben sehr viel wirtschaflicher in Anwendungen ist, bei denen der Druck und der Förderstrombedarf stark variieren. Grundfos bietet aus diesem Grund eine Reihe von Motoren mit integrierten Frequenzumrichter an, der die Drehzahl bedarfsabhängig regelt.

Genauso wie der Förderstrom, Druck und die Leistung ist auch das erforderliche Drehmoment abhängig von der Drehzahl.

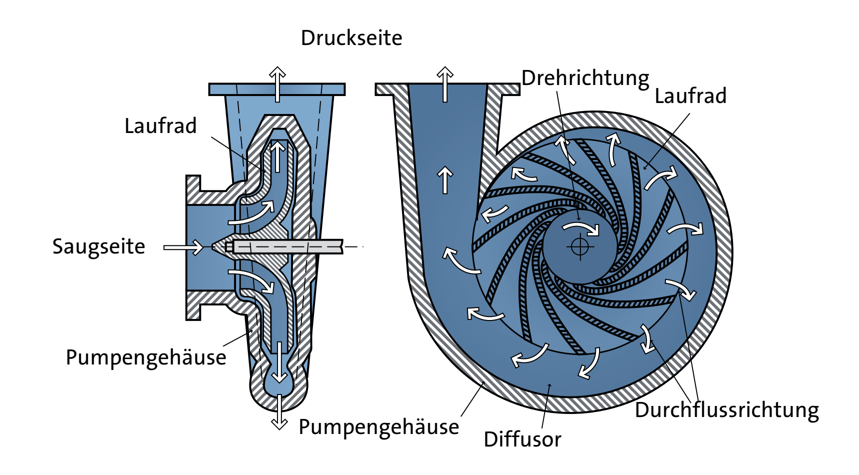
Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt einen Schnitt durch eine Kreiselpumpe. Die Drehmomentanforderungen bei diesem Belastungsfall sind nahezu entgegengesetzt wie bei der Belastungsart „konstante Leistung“. Bei einer variablen Drehmomentlast ist das erforderliche Drehmoment bei niedriger Drehzahl gering und bei hoher Drehzahl sehr hoch. Mathematisch ausgedrückt ist der Drehmomentbedarf eine Funktion der Drehzahl zum Quadrat und die Leistung eine Funktion der Drehzahl hoch drei.

Dieses Verhältnis lässt sich in derselben Drehmoment-/Drehzahlkurve zeigen, die bereits zuvor zur Dartsellung des Motordrehmoments verwendet wurde.

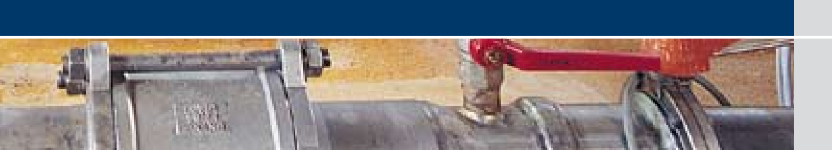
Affinitätsgesetze für Kreiselpumpen

$$\frac{Q_n}{Q_n} = \frac{n_n}{n_x} \qquad \frac{H_n}{H_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^2 \qquad \frac{P_n}{P_x} = \left(\frac{n_n}{n_x}\right)^3$$

n		Förderstrom
↑ 25%	$\frac{\text{Drehzahl 1}}{\text{Drehzahl 2}} = \frac{\text{Förderstrom 1}}{\text{Förderstrom 2}}$	↑ 25%
n		**Förderhöhe**
↑ 25%	$\frac{(\text{Drehzahl 1})}{\text{Drehzahl 2}} = \frac{(\text{Förderhöhe 1})}{\text{Förderhöhe 2}}$	↑ 56%
n		**Leistung**
↓ 50%	$\frac{(\text{Drehzahl 1})}{\text{Drehzahl 2}} = \frac{(\text{Leistung 1})}{\text{Leistung 2}}$	↓ 87.5%



Schnittzeichnung einer Kreiselpumpe

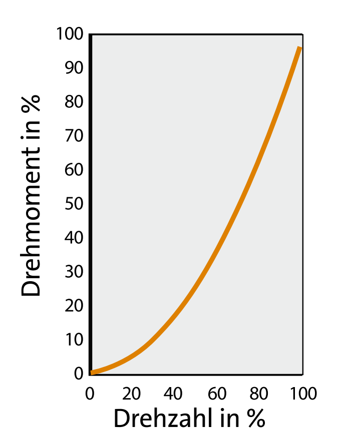


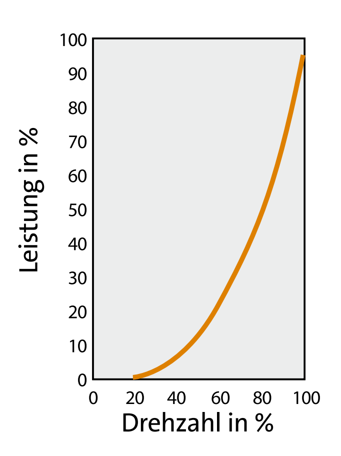
Förderlast und Belastungsarten

Beschleunigt ein Motor von Null auf Volllast, kann das erzeugte Drehmoment erheblich variieren. Das erforderliche Drehmoment bei einer vorgegebenen Last variiert zudem mit der Drehzahl. Damit der Motor die entsprechende Last bewältigen kann, muss das vom Motor gelieferte Drehmoment zu jeder Zeit größer als das von der Anwendung geforderte Drehmoment sein.

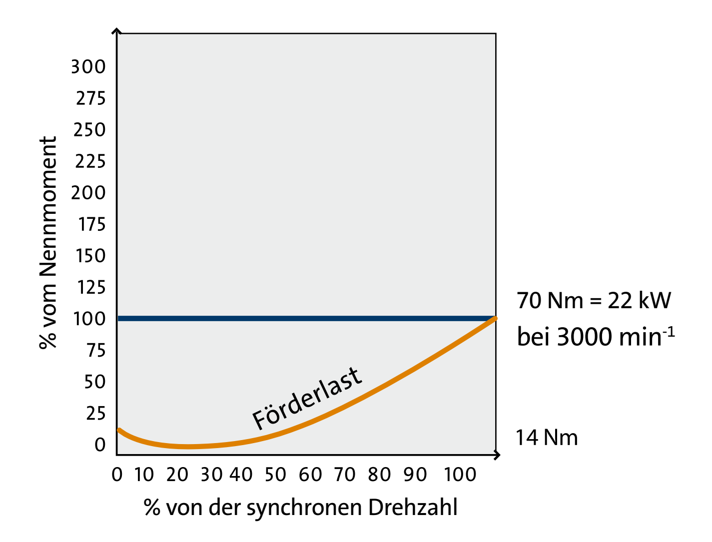
Im Beispiel auf der rechten Seite hat eine Kreiselpumpe ein Nennmoment von 70 Nm. Dies entspricht einer Nennleistung von 22 kW bei 3000 min^{-1}. In diesem konkreten Fall, benötigt die Pumpe 20 % des Nennmoments zum Anlaufen, d.h. ca. 14 Nm. Nach dem Anlaufen fällt das Drehmoment leicht ab und steigt dann bis zum Nennmoment, sobald die Pumpe auf Drehzahl kommt.

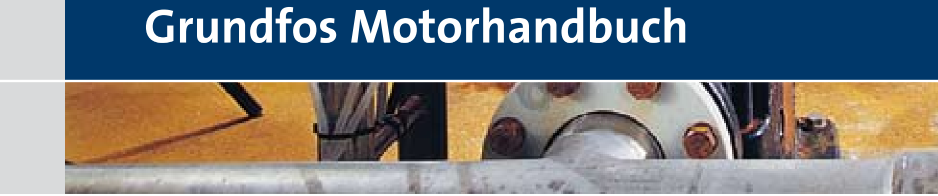
Natürlich soll die Pumpe die gewünschte Förderleistung (Förderstrom Q/Förderhöhe H) liefern. Deshalb muss verhindert werden, dass der Motor nicht vorzeitig wegen Überlast abschaltet. Stattdessen muss sicher gestellt sein, dass der Motor bis zu seiner Nenndrehzahl problemlos hochbeschleunigt. Es muss also gewährleistet sein, dass die Drehmomentkurve des Motors den Drehmomentbedarf durch die Belastung über den gesamten Drehzahlbereich von 0 % bis 100 % abdeckt oder übersteigt. Das überschüssige Drehmoment, d.h. die Differenz zwischen der Belastungskurve und der Drehmomentkurve des Motors wird zum Beschleunigen genutzt.





Der Drehmomentbedarf einer Kreiselpumpe ist eine Funktion der Drehzahl zum Quadrat und die Leistung eine Funktion der Drehzahl hoch drei.





Abstimmen des Motors auf die Belastung

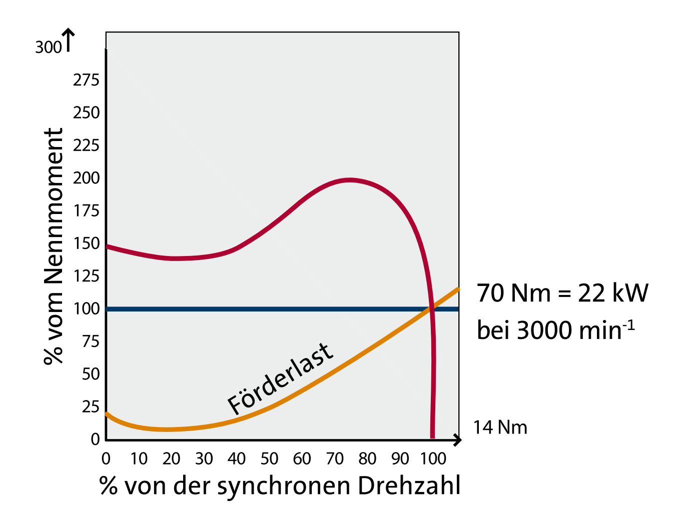
Um abschätzen zu können, ob das Drehmoment eines bestimmten Motors zum Antreiben einer vorgegebenen Last ausreicht, können z.B. die Drehzahl-/Drehmomentkurve des Motors und die Drehzahl-/Drehmomentkurve der Belastung miteinander verglichen werden. Das vom Motor erzeugte Drehmoment muss dabei zu jedem Zeitpunkt größer sein als der durch die Belastung vorgegebene Drehmomentbedarf. Dies gilt sowohl für die Beschleunigungsphase als auch bei voller Drehzahl.

Im oberen Diagramm rechts auf dieser Seite ist der typische Verlauf des von einem Standardmotor gelieferten Drehmoments in Abhängigkeit der Drehzahl dargestellt. Das Diagramm zeigt zudem eine typische Drehmoment-/Drehzahlkurve einer Kreiselpumpe.

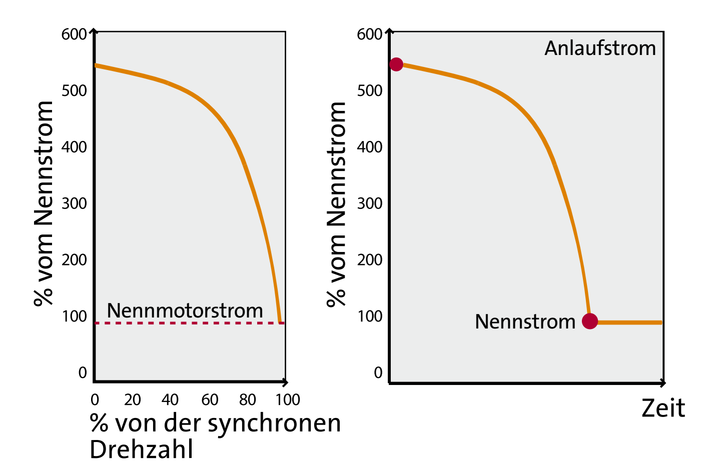
Aus den beiden mittleren Abbildungen ist ersichtlich, dass beim Anlaufen des Motors, die Stromkurve zunächst bei 550 % des Nennstroms beginnt und dann immer mehr abfällt, sobald sich der Motor der Nenndrehzahl annähert. Daraus kann gefolgert werden, dass die Verluste während der Anlaufphase sehr hoch sind. Um ein Überhitzen des Motors zu verhindern, sollte die Anlaufphase deshalb nicht zu lang andauern.

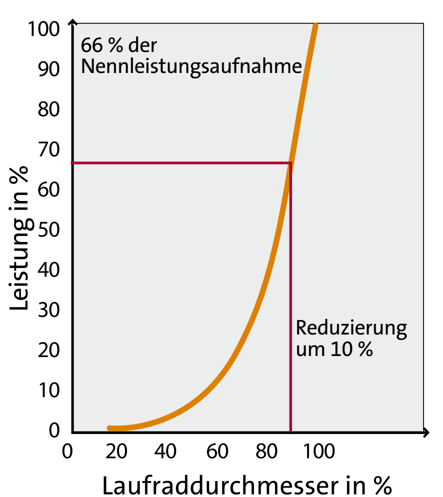
Weiterhin ist es wichtig, dass der Motor so nah wie möglich an die maximale Drehzahl heranreicht. Dabei sollte das Maximum jedoch nicht überschritten werden, d.h. der Motor sollte rechts vom Maximum laufen. Der Grund dafür liegt in der Leistungsaufnahme: Eine Erhöhung der Drehzahl um 1 % über die normale Maximaldrehzahl führt z.B. zu einer Zunahme der Leistungsaufnahme um 3 %.

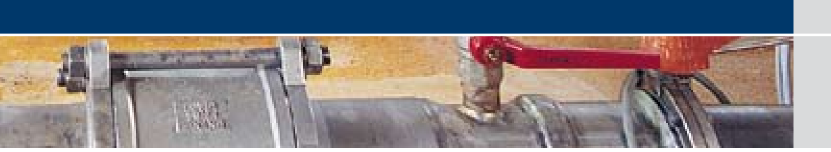
Der Motor und die Pumpe müssen zudem richtig aufeinander abgestimmt sein. So müssen die Anzahl der Laufäder einer mehrstufigen Pumpe wie der CR oder der Laufraddurchmesser einer einstufigen Pumpe wie der NK/NB zur Anzahl der Pole und der Nennleistung des Motors passen. Der Laufraddurchmesser hat je nach Pumpentyp in etwa dieselben Auswirkungen auf den Stromverbrauch wie die Drehzahl. Jedoch ist der Faktor um die Potenz 4 höher. Bei einer Reduzierung des Laufraddurchmessers um 10 % sinkt der Stromverbrauch



Nennmotorstrom in der Beschleunigungsphase







um (1-(0,9 · 0.9 · 0.9 · 0.9)) · 100 = 34 %. Dies entspricht einem Stromverbrauch von 66 % gegenüber dem Stromverbrauch bei Nennleistung. Hierbei handelt es sich jedoch nur um einen Richtwert, weil der tatsächliche Wert vom Pumpentyp, der Laufradgestaltung und der Höhe der Laufradreduzierung abhängt.

Anlaufzeit

Die Bestimmung der richtigen Motorgröße für eine vorgegebene Förderlast, wie es häufig bei Kreiselpumpen erforderlich ist, sollte ausschließlich auf Grundlage des Drehmoments und der Leistung am Nennbetriebspunkt erfolgen, weil das Anlaufmoment für Kreiselpumpen im Vergleich dazu relativ gering ist. Deshalb ist auch die Anlaufzeit kurz, weil das zum Beschleunigen zur Verfügung stehende Überschussmoment recht hoch ist.

In vielen Fällen erfordern moderne Motorschutzeinrichtungen und Überwachungssysteme eine bestimmte Anlaufzeit, um den Anlaufstrom mit berücksichtigen zu können. Die Anlaufzeit eines Motor, der eine Pumpe antreibt, kann mit Hilfe folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$t_{Start} = \frac{n \cdot 2\pi \cdot I_{gesamt}}{60 \cdot M_{Beschl.}}$$

t_{Start} = die vom Pumpenmotor benötigte Zeit bis zum Erreichen der Nenndrehzahl

n = Nenndrehzahl des Motors

I_{gesamt} = die Trägheit der Motorwelle, des Rotors, der Pumpenwelle und des Laufrads, die beim Beschleunigen überwunden werden muss.

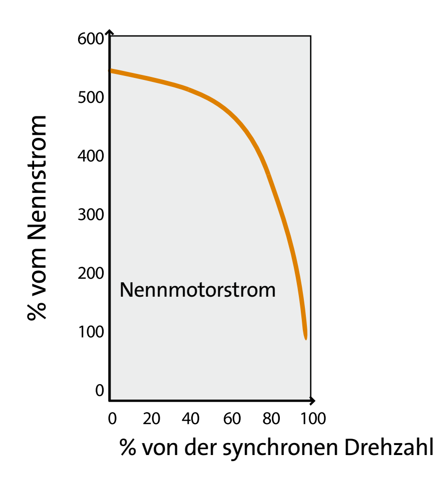
Das Trägheitsmoment für Pumpen und Motoren ist in den entsprechenden Datenheften angegeben.

$M_{Beschl.}$ = Beschleunigungsmoment

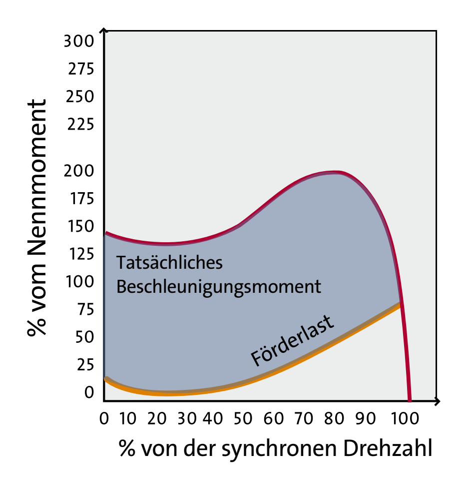
Das tatsächlich zur Verfügung stehende Beschleunigungsmoment ergibt sich aus dem Motormoment minus dem von der Pumpe benötigten Drehmoment, das sich jedoch beim Durchlaufen des Drehzahlbereichs laufend ändert.

$M_{Beschl.}$ kann mit Hilfe folgender Gleichung abgeschätzt werden:

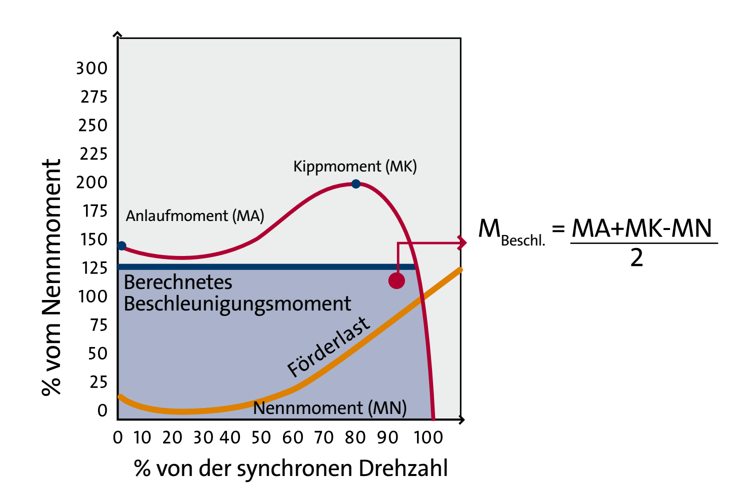
$$M_{Beschl.} = \frac{MA + MK - MN}{2}$$



Während der Anlaufphase ist der Strom 5- bis 10-mal so hoch wie der Nennstrom. Deshalb muss die Anlaufzeit beachtet werden.



Das tatsächlich zur Verfügung stehende Beschleunigungsmoment ergibt sich aus dem Motormoment minus dem von der Pumpe benötigten Drehmoment, das sich jedoch beim Durchlaufen des Drehzahlbereichs laufend ändert.



Berechnetes Beschleunigungsmoment



Schaltspiele pro Stunde

Moderne Motorüberwachungssysteme können die Anzahl der Schaltspiele für eine vorgebene Pumpe mit Motor überwachen. Eine Überwachung der Schaltspiele ist sinnvoll, weil der Motor bei jedem Anlaufen und Beschleunigen einen hohen Anlaufstrom benötigt. Und durch den Anlaufstrom wird der Motor erwärmt. Wird der Motor nicht gekühlt, werden die Statorwicklungen des Motors durch die ständige Belastung durch den Anlaufstrom erheblich aufgeheizt. Dann fällt der Motor entweder sofort aus oder die Lebensdauer des Motorisolationssystems wird erheblich herabgesetzt.

In der Regel ist der Motorhersteller dafür verantwortlich, wie viele Einschaltungen pro Stunde der Motor verträgt. Grundfos z.B. gibt die Anzahl der Einschaltungen pro Stunde in seinen Pumpendatenheften an, weil die maximal zulässige Anzahl an Einschaltungen pro Stunde vom Trägheitsmoment der Pumpe abhängt. Im Hinblick auf den Motor kann die Anzahl der Einschaltungen pro Stunde berechnet werden. Nur ein Motorfachmann kann jedoch entscheiden, ob die für den Motor berechnete Anzahl an Einschaltungen auch der Anzahl an Einschaltungen entspricht, die die Pumpe verträgt.

Motordaten

Nenndrehzahl (n)	=	3000	min^{-1}
Nennmoment	=	11	Nm
Anlaufmoment (240 % des Nennmom.)	=	26	Nm
Kippmoment (340 % des Nennmoments)	=	37	Nm
Trägheit Motorwelle, Rotor, Lüfter (I_{Motor})	=	0,0075	kgm^2

Pumpendaten

Trägheit Pumpenwelle, Laufrädern (I_{Pumpe})	=	0,0014	kgm^2

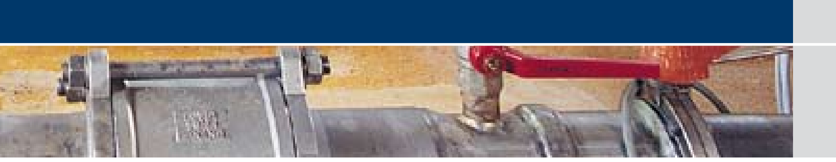
$$I_{gesamt} = 0{,}0075 + 0{,}0014 = 0{,}0089 \text{ kgm}^2$$

$$M_{Beschl.} = \frac{MA + MK - MN}{2}$$

$$M_{Beschl.} = \frac{26 + 37 - 11}{2} = 26 \text{ Nm}$$

$$t_{Start} = \frac{3000 \cdot 2\pi \cdot 0{,}0089}{60 \cdot 26} = 0{,}11 \text{ sec}$$

Aus dem Berechnungsbeispiel mit einem 4-kW-Motor, der eine CR-Pumpe antreibt, ist ersichtlich, dass die Anlaufzeit 0,11 Sekunden beträgt.



Leistung und Wirkungsgrad (eta)

Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der aus dem Netz gezogenen Leistung, der vom Motor an die Pumpe über die Welle abgegebenen Leistung und der von der Pumpen in Form des Förderstroms und der Förderhöhe gelieferten Leistung. Dieser Zusammenhang wird häufig durch die Begriffe elektrische Leistungsaufnahme, Wellenleistung und hydraulische Leistung ausgedrückt.

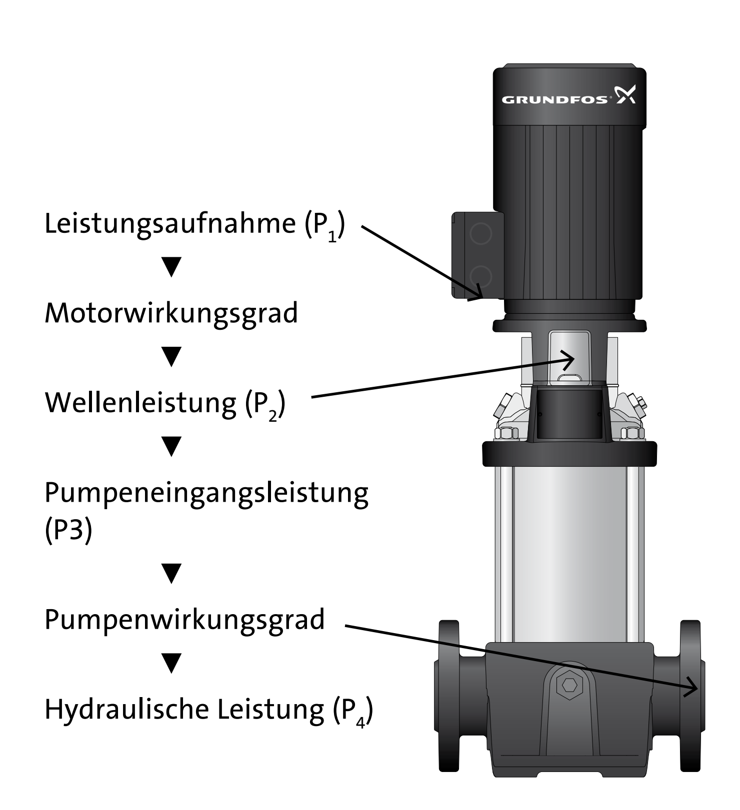
Die Pumpenindustrie verwendet in Verbindung mit dem Pumpenbetrieb folgende Bezeichnungen für die drei unterschiedlichen Leistungsarten.

P1 (kW)
Die elektrische Leistungsaufnahme einer Pumpe ist einfach ausgedrückt die Leistung, die der Pumpenmotor aus der elektrischen Spannungsquelle zieht. P1 entspricht der Leistung P2 geteilt durch den Motorwirkungsgrad.

P2 (kW)
Die Wellenleistung einer Pumpe ist die Leistung, die der Motor an die Pumpenwelle abgibt.

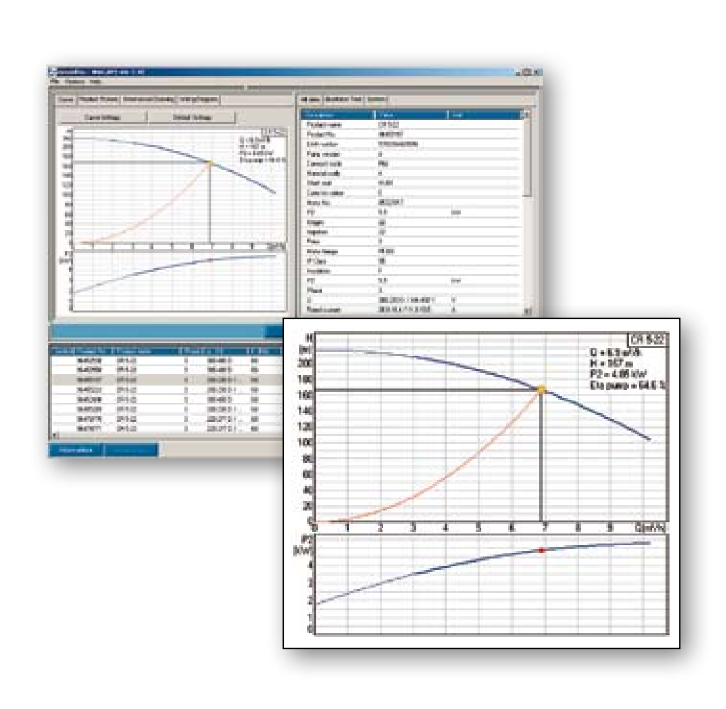
P3 (kW)
Pumpeneingangsleistung = P2

P4 (kW)
Die hydraulische Leistung einer Pumpe ist die Leistung, die die Pumpe auf das Fördermedium überträgt.



Auslegung einfach gemacht

Zum Glück brauchen Sie keine komplexen Auslegungsberechnungen duchzuführen, wenn Sie eine Pumpe auswählen müssen. Denn im Rahmen der Entwicklung von Pumpen und Motoren wurden umfassende Berechnungen und Prüfungen durchgeführt, um eine bestmögliche Grundlage für die Pumpenauswahl zu schaffen. Das Ergebnis dieser Berechungen und Tests fliesst in das von Grundfos entwicklelte computergestützte Pumpenauslegungsprogramm WinCAPS bzw. WebCPAS ein. WinCAPS/WebCAPS enthält Informationen über alle Grundfos-Produkte, so dass mit Hilfe der im Programm hinterlegten Funktion die erforderliche Pumpen- und Motorgröße berechnet werden kann.





4. Normen für Wechselstrommotoren

Normen für Wechselstrommotoren

Im folgenden Kapitel werden die für Normmotoren geltenden Normen behandelt. Normmotoren sind Motoren, die in Übereinstimmung mit den für diesen Bereich geltenden internationalen und nationalen Normen konstruiert und gefertigt werden.

Normenübersicht

Grundsätzlich können die für Motoren geltenden Normen in zwei Kategorien unterteilt werden: IEC/EN und NEMA.

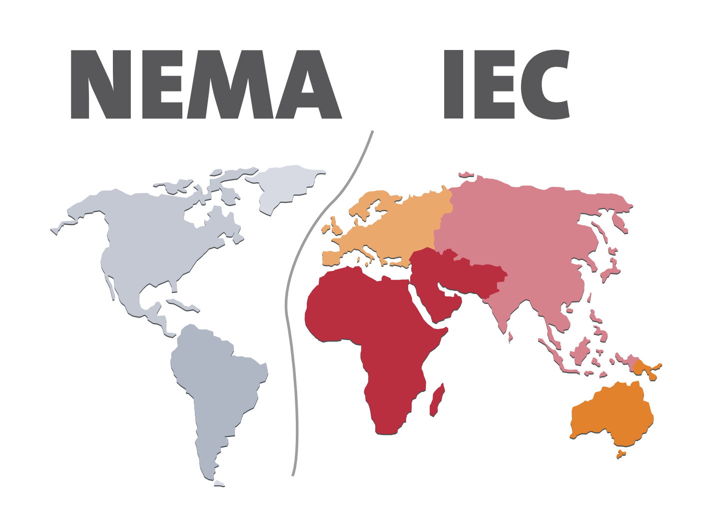
IEC/EN

Die IEC/EN-Normen decken den Bereich der sogenannten „IEC"-Motoren ab. Sie gelten hauptsächlich für die Regionen Europa und Asien. Hier wird das metrische Einheitensystem (SI-Einheiten) verwendet. Ein Beispiel ist die Einheit Meter (m).

Die „International Electrotechnical Commission", kurz IEC, stellt Normen für Motoren auf, die in vielen Ländern der Welt eingesetzt werden. Dazu gehört z.B. die Normenreihe IEC 60034, die Empfehlungen zu elektrischen Verfahren und Methoden enthält, die von den teilnehmenden IEC-Ländern ausgearbeitet wurden. Die Abmessungen und zugehörigen Toleranzen sind in den Normen IEC 60072 und EN 50347 definiert.

NEMA

Die NEMA-Normen gelten hauptsächlich in den USA und Kanada sowie in Ländern, die enge Beziehungen zur USA unterhalten. Hier wird das US-Einheitensystem verwendet.
Die in diesen Ländern für die Normung zuständige Organisation „National Electrical Manufacturers Association", kurz NEMA, stellt Normen für zahlreiche elektrische Produkte - darunter auch Motoren - auf. Die NEMA-Normen gelten hauptsächlich für in Nordamerika eingesetzte Motoren. Die Normen spiegeln den Stand der Technik wieder und werden in Zusammenarbeit mit den Herstellern elektrischer Ausrüstung erstellt. Der Standard für Motoren ist in der NEMA Normenveröffentlichung Nr. MG1 definiert. Einige große Motoren fallen jedoch nicht unter die NEMA-Normen.



Die IEC/EN-Normen decken den Bereich der sogenannten „IEC"-Motoren ab. Sie gelten hauptsächlich für die Regionen Europa und Asien. Die NEMA-Normen gelten hauptsächlich in den USA und Kanada sowie in Ländern, die enge Beziehungen zur USA unterhalten.







Normen für Wechselstrommotoren

Internationale IEC-Norm	Harmonisierte europäische EN-Norm	Bezeichnung
IEC 60034-1+ A1 und A2	EN 60034-1+ A1, A2 und AII	Drehende elektrische Maschinen. Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten.
IEC 60034-2+A1, A2 und IEC 60034-2A	EN 60034-2+A1 und A2	Drehende elektrische Maschinen. Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Verluste und des Wirkungsgrades von drehenden elektrischen Maschinen aus Prüfungen (ausgenommen Maschinen für Schienen- und Straßenfahrzeuge).
IEC 60034-5	EN 60034-5	Drehende elektrische Maschinen. Teil 5: Schutzarten aufgrund der Gesamtkonstruktion von drehenden elektrischen Maschinen (IP-Code) - Einteilung.
IEC 60034-6	EN 60034-6	Drehende elektrische Maschinen. Teil 6: Einteilung der Kühlverfahren (IC-Code).
IEC 60034-7 + A1	EN 60034-7 + A1	Drehende elektrische Maschinen. Teil 7: Klassifizierung für Bauarten, der Aufstellungsarten und der Klemmkasten-Lage (IM-Code).
IEC 60034-8	EN 60034-8	Drehende elektrische Maschinen. Teil 8: Anschlussbezeichnungen und Drehsinn.
IEC 60034-9	EN 60034-9	Drehende elektrische Maschinen. Teil 9: Geräuschgrenzwerte.
IEC 60034-11	-	Thermischer Schutz.
IEC 60034-12	EN 60034-12	Drehende elektrische Maschinen. Teil 12: Anlaufverhalten von Drehstrommotoren mit Käfigläufer ausgenommen polumschaltbare Motoren.
IEC 60034-14	EN 60034-14	Drehende elektrische Maschinen. Teil 14: Mechanische Schwingungen von bestimmten Maschinen mit einer Achshöhe von 56 mm und höher - Messung, Bewertung und Grenzwerte der Schwingstärke.
IEC 60038	-	IEC-Standardspannungen.
IEC 60072-1	(EN 50347)	Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit standardisierten Abmessungen und Leistungen. Teil 1: Baugrößen 56 bis 400 und Flanschgrößen 55 bis 1080.
IEC 62114	-	Elektrische Isoliersysteme - Thermische Klassifizierung.
-	EN 50102	Schutzarten durch Gehäuse für elektrische Betriebsmittel (Ausrüstung) gegen äußere mechanische Beanspruchungen (IK-Code).
(IEC 60072-1)	EN 50347	Drehstromasynchronmotoren für den Allgemeingebrauch mit standardisierten Abmessungen und Leistungen - Baugrößen 56 bis 315 und Flanschgrößen 65 bis 740.
Weitere Normen:		
DIN 51825		Schmierstoffe - Schmierfette K - Einteilung und Anforderungen (1990-08).
DIN 44082		Temperaturabhängige Widerstände; Drillings-Kaltleiter; Thermischer Maschinenschutz; klimatische Anwendungsklasse HFF (1985-06).
ISO 2409	EN ISO 2409	Beschichtungsstoffe - Gitterschnittprüfung.
-	EN ISO 3743-2	Akustik - Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen - Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern. Teil 2: Verfahren für Sonder-Hallräume.
-	EN ISO 4871	Akustik - Angabe und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten von Maschinen und Geräten.
-	EN ISO 11203	Akustik - Geräuschabstrahlung von Maschinen und Geräten - Bestimmung von Emissions-Schalldruckpegeln am Arbeitsplatz und an anderen festgelegten Orten aus dem Schallleistungspegel.

Die Tabelle gibt einen Überblick über die Normen, die für die Gestaltung, Herstellung und den Einsatz von Elektromotoren gelten. Es werden in diesem Kapitel jedoch nicht alle Normen behandelt.

IEC 60034

Die Normen IEC 60034 und IEC 60072 sind die beiden Hauptnormen, die in Verbindung mit Elektromotoren von Bedeutung sind. Deshalb folgt hier zunächst eine kurze Beschreibung, welche Anforderungen in der IEC 60034 definiert sind. Danach werden einige weitere wichtige Vorschriften in Verbindung mit Motoren vorgestellt.

Motorauslegung und Einschaltdauer

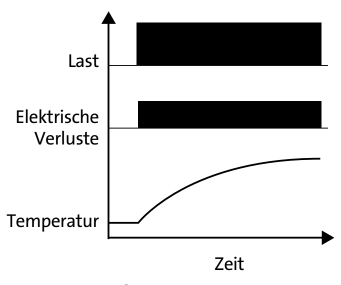
Die Wahl der richtigen Motorgröße für eine vorgegebene Anwendung kann die Betriebskosten maßgeblich beeinflussen. Um jedoch die richtige Motorgröße wählen zu können, muss die Einschaltdauer des Motors sorgfältig ermittelt werden.

Die meisten Motoren laufen im Dauerbetrieb bei konstanter Last. In einigen Fällen muss der Motor jedoch nur für kürzere Zeit oder im Aussetzbetrieb laufen. Läuft der Motor nicht immer unter Volllast, kann unter Umständen eine kleinere Motorbaugröße gewählt werden. Um festzustellen, ob dies möglich ist, muss die Betriebsart bzw. Einschaltdauer berücksichtigt werden. Dazu sind zahlreiche Einflussfaktoren zu beachten:

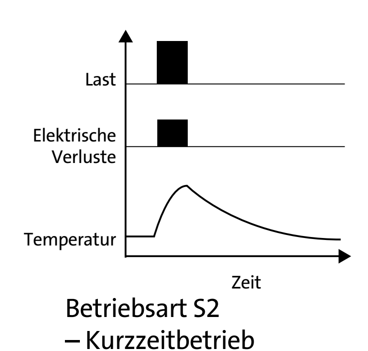
- Die Dauer und Abfolge der auf den Motor wirkenden Belastung.
- Anlaufvorgang, elektrische Bremsung, Nulllast, Pausen und Stillstandszeiten.

So hat die durch die Anwendung vorgegebene Betriebsart möglicherweise einen erheblichen Einfluss auf die Bemessung des Motors.

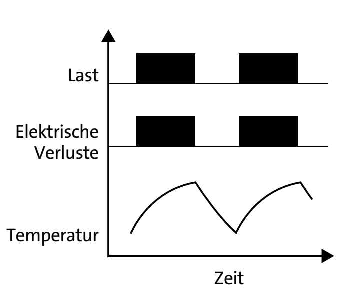
In der Norm IEC 60034-1 sind zehn Betriebsarten mit ihren Ausprägungen definiert. Sie tragen die Bezeichnung S1 bis S10.



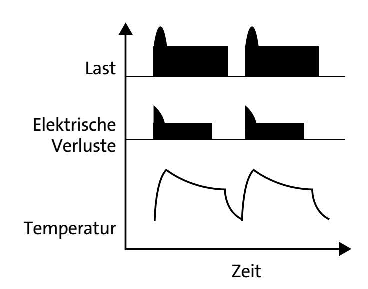
Betriebsart S1 – Dauerbetrieb



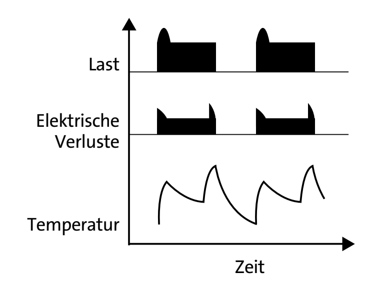
Betriebsart S2 – Kurzzeitbetrieb



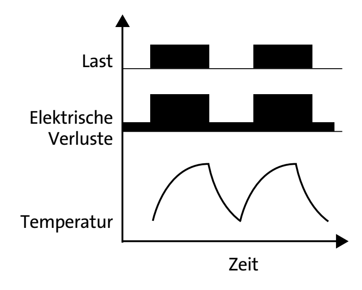
Betriebsart S3 – periodischer Aussetzbetrieb



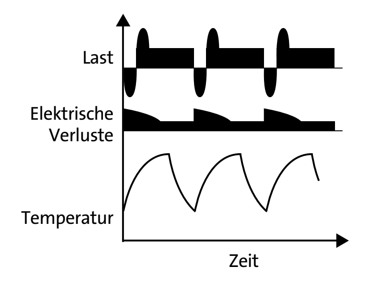
Betriebsart S4 – periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufvorgangs



Betriebsart S5 - periodischer Aussetzbetrieb mit Einfluss der elektrischen Bremsung



Betriebsart S6 - Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Aussetzbelastung



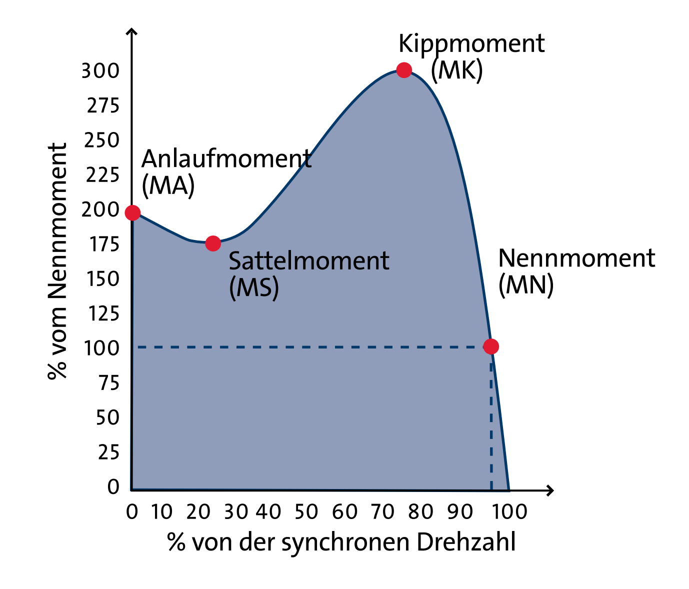
Betriebsart S7 - Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung



Elektrische Toleranzen

Unter den Begriff elektrische Toleranzen fallen die zulässigen Toleranzen für den Wirkungsgrad, den Leistungsfaktor (Phasenwinkel), die Drehzahl, das Anlaufmoment, das Kippmoment, den Anlaufstrom und das Trägheitsmoment.

Parameter	Toleranz
Wirkungsgrad	
Maschinenleistung P < 50 kW	-15 % $(1-\eta_{Motor})$
Maschinenleistung P > 50 kW	-10 % $(1-\eta_{Motor})$
Phasenwinkel	-1/6 (cos phi)
	(min. 0,02 / max. 0,07)
Schlupf	
Maschinenleistung P < 1 kW	+/-30%
Maschinenleistung P > 1 kW	+/-20%
Anlaufmoment	-15 %, +25 % vom zugesicherten Drehmoment
Anlaufstrom	+20%
Sattelmoment	Wird bei Grundfos Motoren nicht angegeben.
	Das Sattelmoment ist mit dem Anlaufmoment identisch.
	Das Anlaufmoment ist das kleinste Drehmoment bei einphasigen und deiphasigen MG- und MMG-Motoren während der Beschleunigungsphase.
	Das Sattelmoment von polumschaltbaren Motoren (nach Dahlander) ist kleiner als das Anlaufmoment.
Kippmoment	-10 % vom zugesicherten Drehmoment, falls das Kippmoment > das 1,5-fache des Nennmoments ist.



Drehmoment-/Drehzahlkurve für einen Wechselstrommotor. Die Toleranzen sind in der Norm IEC 60034-1 definiert.

Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebs

In Verbindung mit Spannungen, die von der Nennspannung abweichen, sind höhere Temperaturanstiege zulässig. Ein Motor sollte zwar in der Lage sein, seine Hauptfunktion in der mit A gekennzeichneten Zone zu erfüllen. Er muss seine volle Leistung, die bei der Nennspannung und Nennfrequenz erbracht wird, aber nicht über den gesamten Spannungsbereich abgeben, so dass einige Abweichungen erlaubt sind. So können die Temperaturanstiege z.B. höher als bei Nennspannung und Nennfrequenz sein, wenn der Betrieb im Grenzbereich der Zone A erfolgt. Wird der Motor in Zone B betrieben, wird der gemäß Wärmeklasse B zulässige Temperaturanstieg häufig sogar überschritten. Grundfos Motoren können jedoch auch im Grenzbereich der Zone B betrieben werden, ohne das Schäden auftreten. Allerdings verkürzt sich dann die Lebensdauer des Motors. Deshalb wird ein häufiger Betrieb in der Zone B nicht empfohlen.

Überströme

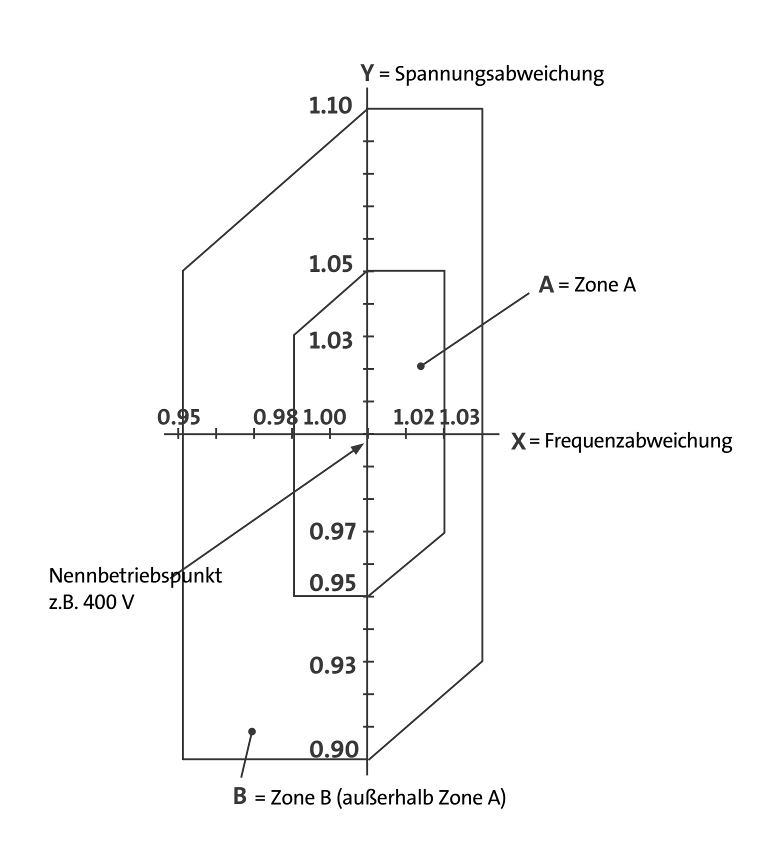
Dreiphasige Wechselstrommotoren bis 315 kW mit einer Nennspannung bis 1000 V müssen für mindestens 2 Minuten Überströmen standhalten, die das 1,5-fache des Nennstroms betragen. Für einphasige und dreiphasige Motoren mit einer Nennspannung über 315 kW ist kein Grenzwert für einen zeitweise auftretenden Überstrom definiert.

Maximales Drehmoment

Unabhängig von der Motorbauart und dem Betriebspunkt müssen die Motoren einem 60 % höheren Drehmoment als das Nennmoment standhalten, ohne abzuschalten oder die Drehzahl merklich zu ändern. Dies gilt jedoch nur bei allmählich ansteigendem Drehmoment. Gleichzeitig müssen die Spannung und Frequenz die Nennwerte einhalten.

Prüfungen in der Fertigung

Während der Fertigung werden einige grundlegende Prüfungen durchgeführt. Dabei müssen die Sicherheitsprüfungen nach gesetzlichen Vorschriften ausgeführt werden.
Es gibt zwei Arten von Sicherheitsprüfungen: Die Hochspannungsprüfung und die Erdungsprüfung.



Zulässige Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebs gemäß der europäischer Normen IEC 60034-1 und IEC 60038.

Netzspannungen nach IEC 60038	
50 Hz	**60 Hz**
230 V ± 10 %	-
400 V ± 10 %	-
690 V ± 10 %	-
-	460 V ± 10 %

Beispiel für den Nennspannungsbereich von Grundfos Motoren.	
50 Hz	**60 Hz**
220-240 V ± 5 %	220-277 V ± 5 %
380-415 V ± 5 %	380-440 V ± 5 %
380-415 V ± 5 %	380-480 V ± 5 %
660-690 V ± 5 %	660-690 V ± 5 %



Hochspannungsprüfung

Das Ziel der Hochspannungsprüfung ist zu prüfen, ob die Isolierung ausreichend ist. Bei der Hochspannungsprüfung wird eine hohe Spannung (Wechselspannung 50 Hz oder 60 Hz) zwischen allen Phasen und Masse angelegt und der Ableitstrom gemessen.

Gemäß der entsprechenden Norm muss folgende Prüfspannung für Motoren mit einer Leistung von P2 < 10000 kW eine Minute lang anliegen:

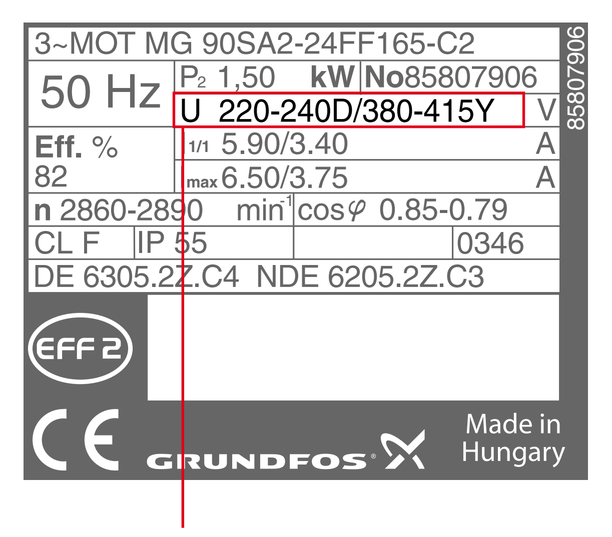
1000 V + 2 • U

(U ist die maximale Motornennspannung)
Die Prüfspannung muss jedoch mindestens 1500 V betragen.

In der Serienfertigung von Motoren bis 5 kW kann der 1-minütige Test durch einen 1-Sekunden-Test ersetzt werden, wobei die Prüfspannung um weitere 20 % erhöht wird.

Erdungsprüfung

Das Ziel der Erdungsprüfung ist die Überprüfung der Erdungsklemmenverbindung zur Masse. Der Widerstand darf dabei 0,1 Ω nicht überschreiten.



IEC 60034-2: Ermittlung der Verluste und des Wirkungsgrads

Für die Überprüfung von elektrischen Maschinen gibt es weltweit mehrere Normen. Für Induktionsmotoren sind die drei wichtigsten Normen die IEEE-Norm 112, die Norm JEC 37 (Japan) und die IEC 60034-2. Der nach den unterschiedlichen Prüfnormen ermittelte Wirkungsgrad kann um einige Prozentpunkte variieren. Dies scheint jedoch im Widerspruch zur theoretischen Definition des Wirkungsgrads zu stehen:

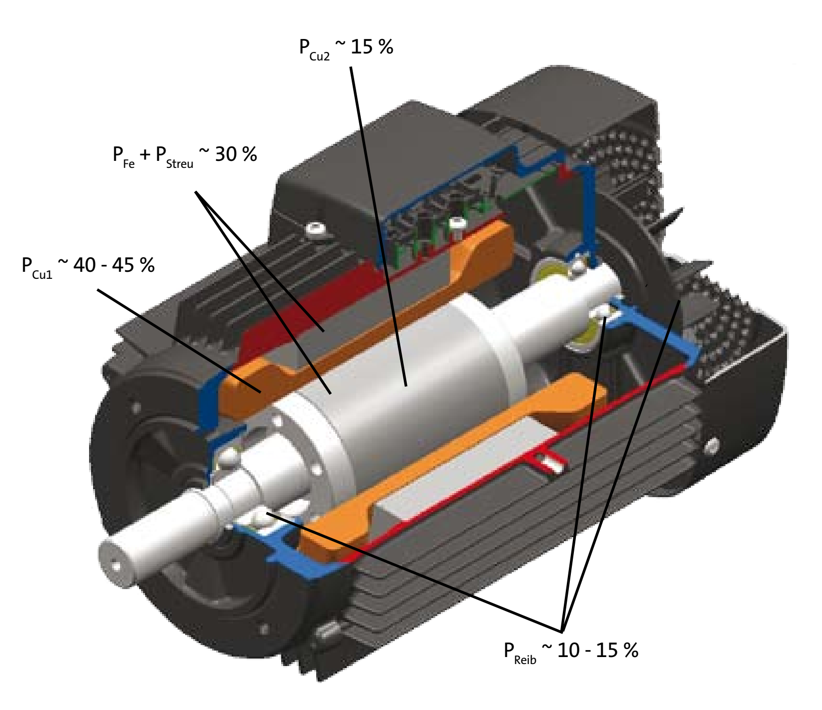


$$\eta = \frac{\text{Eingangsleistung}}{\text{Eingangsleistung}} = 1 - \frac{\text{Gesamtverluste}}{\text{Ausgangsleistung}}$$

Die Verluste in einem Induktionsmotor lassen sich wie folgt unterteilen:

1. Statorwicklungsverlust P_{Cu1} = ca. 40-45 %
2. Rotorwicklungsverlust P_{Cu2} = ca. 15 %
3. Reibungsverlust P_{Reib} = ca. 10-15 %
4. Eisenverlust P_{Fe} = ca. 20 %
5. Streuverlust P_{Streu} = ca. 10 %

Der Hauptunterschied bei den verschiedenen Normen besteht darin, wie die fünfte Verlustkomponente - der Streuverlust (P_{Streu}), also die zusätzlichen Belastungsverluste - behandelt werden.



Verluste in einem Induktionsmotor

Normen für das Prüfen von Motoren

Das Prüfen von Normmotoren ist in der Norm IEC 60034-2 beschrieben. In den nachfolgenden Abschnitten werden zwei unterschiedliche Verfahren zum Prüfen von Motoren vorgestellt: Das direkte und das indirekte Verfahren.

Die beiden Verfahren unterscheiden sich in der Art, wie der Motorwirkungsgrad ermittelt wird. Die Norm IEC 60034 deckt dabei den Bereich der sogenannten Industriemotoren ab. Die Anforderungen an Haushaltsgeräte sind in der Norm IEC 60335 aufgeführt. Hier sind die Anforderungen an die Motoren etwas strenger gefasst als bei Industriemotoren. Zusätzlich zu den Prüfungen von Normmotoren werden in unseren Prüflabors auch Produkte geprüft, die aus Motor und Pumpe bestehen. Prinzipiell sind dabei die Temperaturprüfungen identisch, werden jedoch nach anderen Normen ausgeführt. Kleine Umwälzpumpen werden z.B. nach der NormIEC 60335-2-51 geprüft.



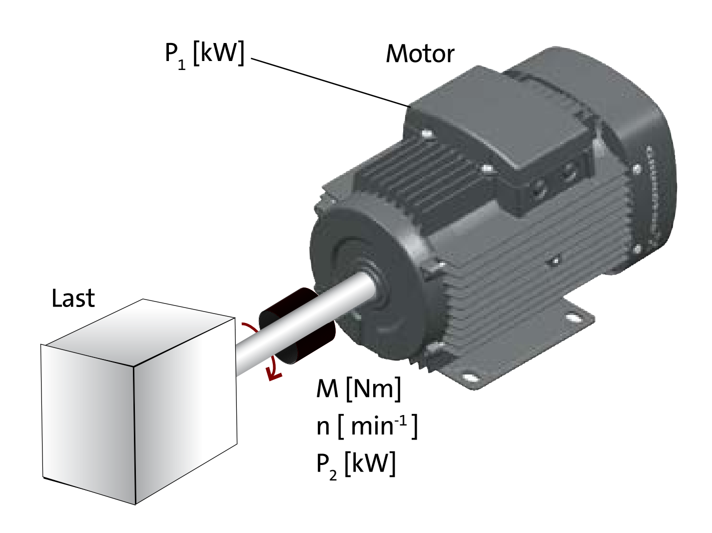
Direktes Verfahren zur Motoranalyse

Das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur Prüfung von kleinen Motoren (< 45 kW) ist das direkte Verfahren, bei dem die Eingangsleistung (P_1) und die Ausgangsleistung (P_2) gemessen werden. Die Ausgangsleistung wird mit Hilfe eines Drehmomentwandlers gemessen, der zwischen dem Motor und der Last angeordnet wird. Der Drehmomentwandler misst das Ausgangsdrehmoment (M) und die Drehzahl (n) des Motors.
Die Ausgangsleistung wird dann auf Grundlage der folgenden Gleichung berechnet:

$$P_2 = M \cdot \omega = M \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Der Wirkungsgrad des Motors ergibt sich dann aus folgender Gleichung:

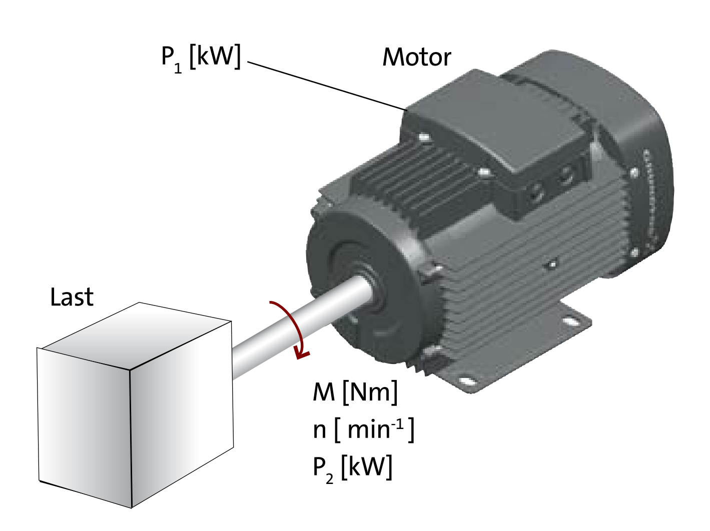
$$n = \frac{P_2}{P_1} (\%)$$



Messanordnung beim direkten Verfahren

Indirektes Verfahren zur Motoranalyse

Das indirekte Verfahren kann nur bei dreiphasigen Motoren angewendet werden. Bei diesem Verfahren wird kein Drehmomentwandler verwendet. Das bedeutet, dass zur Ermittlung des Wirkungsgrads die Ausgangsleistung des Motors berechnet werden muss.
Um die Ausgangsleistung ermitteln zu können, müssen die im Motor auftretenden Verluste bekannt sein, weil die Gesamtsumme der Verluste und die Ausgangsleistung der Eingangsleistung entsprechen.
Beim Motor wird zwischen zwei Arten von Verlusten unterschieden: Konstante Verluste und lastabhängige Verluste.



Messanordnung beim indirekten Verfahren

Konstante Verluste

Zu den konstanten Verlusten gehören die Eisenverluste (P_{Fe}) und die Reibungsverluste (P_{Reib}). Diese beiden Verlustarten werden mit Hilfe einer Nulllast-Analyse des Motors ermittelt. Allgemein werden die konstanten Verluste immer mit Hilfe einer Nulllast-Prüfung des Motors bestimmt.



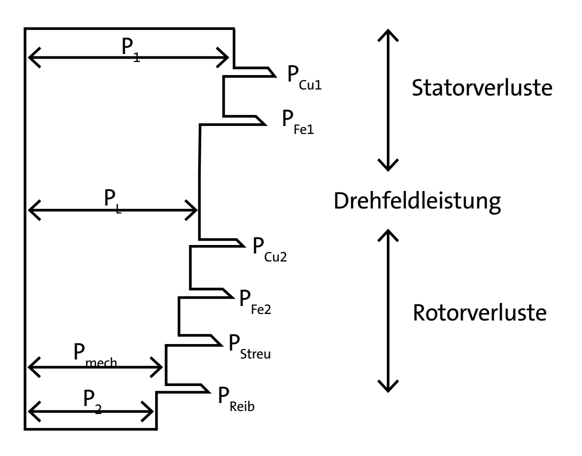
Lastabhängige Verluste

Zu den lastabhängigen Verlusten gehören die ohmschen Verluste des Stators (P_{Cu1}), die ohmschen Verluste des Rotors (P_{Cu2}) und die Streuverluste (P_{Streu}). Die lastabhängigen Verluste werden durch Aufbringen unterschiedlicher Lasten berechnet.

Der Wirkungsgrad des Motors ergibt sich dann aus folgender Gleichung:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum \text{Verluste}}{P_1} = \frac{P_1 - P_{cu1} - P_{cu2} - P_{Streu} - P_{Fe} - P_{Reib}}{P_1} \quad [\%]$$

Das indirekte Verfahren zur Ermittlung des Wirkungsgrads ist ungenauer als das direkte Verfahren, weil hier mit einigen Abschätzungen (z.B. dass P_{Streu} gleich 0,5 % von P_1 ist) gearbeitet wird, die nicht immer genau die realen Verhältnisse abbilden. Dennoch wird das indirekte Verfahren häufig verwendet, weil die Messungen einfach durchzuführen sind.



Verlustdiagramm eines Motors

IEC 60034-5: Schutzarten von elektrischen Maschinen (IP-Code)

Die Schutzarteinteilung für Motoren ist in der Norm IEC 60034-5 definiert. Die Schutzartklasse gibt an, in wie weit der Motor gegen Eindringen von Fremdkörpern und Feuchtigkeit/Wasser geschützt ist. Die Schutzart wird mit Hilfe der beiden Buchstaben IP gefolgt von zwei Ziffern angegeben.

Motoren der Schutzart IP 44 besitzen dabei denselben Schutzgrad wie Motoren der Schutzart IP 55. Der Unterschied der beiden Motorausführungen besteht darin, dass Motoren der Schutzart IP 44 mit Ablaufbohrungen ausgestattet sind, über die in das Statorgehäuse eingedrungenes Wasser ablaufen kann. Deshalb sind Motoren der Schutzart IP 44 besser geeignet für Anwendungen in dampfhaltiger Umgebung als Motoren der Schutzart IP 55.

Erste Ziffer	Zweite Ziffer
Schutz gegen Berühren und Eindringen von Fremdkörpern	Schutz gegen eindringendes Wasser
0 Kein besonderer Schutz	0 Kein besonderer Schutz
1 Der Motor ist gegen das Eindringen von Fremdkörpern > 55 mm und gegen ein zufälliges, großflächiges Berühren innerer, aktiver Bauteile z.B. mit der Hand geschützt.	1 Der Motor ist gegen senkrecht fallendes Tropfwasser, wie z.B. Kondenswasser, geschützt.
2 Der Motor ist gegen das Eindringen von Fremdkörpern > 12 mm und gegen das Berühren innerer, aktiver Bauteile mit dem Finger geschützt.	2 Der Motor ist gegen senkrecht fallendes Tropfwasser geschützt, auch wenn der Motor um 15° geneigt ist. Er ist zudem gegen schräg fallendes Tropfwasser geschützt, das in einem Winkel von 15° zur Senkrechten auftrifft.
3 Der Motor ist gegen das Eindringen von Fremdkörpern > 2,5 mm und gegen das Berühren innerer, aktiver Bauteile mit Werkzeugen, Drähten, usw. geschützt.	3 Der Motor ist gegen Sprühwasser geschützt, das mit einem Winkel bis 60° zur Senkrechten auftrifft.
4 Der Motor ist gegen das Eindringen von Fremdkörpern > 1 mm und gegen das Berühren innerer, aktiver Bauteile mit z.B. Drähten geschützt.	4 Der Motor ist gegen aus allen Richtungen auftreffendes Spritzwasser geschützt.
5 Der Motor ist gegen das Eindringen von Staub und vollständig gegen das Berühren innerer, aktiver Bauteile geschützt.	5 Der Motor ist gegen aus allen Richtungen auftreffendes Strahlwasser, das aus einer Düse austritt, geschützt.
6 Der Motor ist staubdicht und vollständig gegen das Berühren innerer, aktiver Bauteile geschützt.	6 Der Motor ist gegen Überflutung oder gegen aus allen Richtungen auftreffende Hochdruckwasserstrahlen geschützt.
	7 Der Motor ist gegen Eintauchen in Wasser bis zu einer Eintauchtiefe von 15 cm bis 1 m geschützt. Die maximal zulässige Eintauchzeit wird vom Hersteller angegeben.
	8 Der Motor ist gegen dauerhaftes Untertauchen in Wasser unter den vom Hersteller definierten Bedingungen geschützt.

Die Schutzart wird mit Hilfe der beiden Buchstaben IP gefolgt von zwei Ziffern angegeben, z.B. IP55.



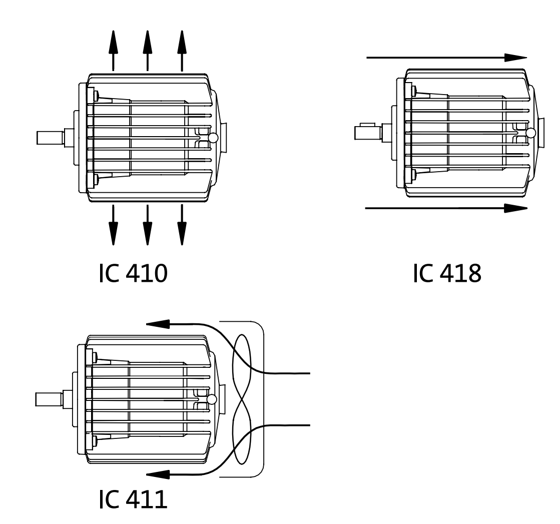
IEC 60034-6: Verfahren zur Kühlung von elektrischen Maschinen (IC-Code)

Die drei am häufigsten eingesetzten Verfahren zur Motorkühlung tragen die nachfolgend aufgeführten Bezeichnungen gemäß IEC 60034-6 (IC-Code): IC 411, IC 410 und IC 418.

IC 410 :
Der Motor wird durch freie Konvektion gekühlt.

IC 411 :
Der Motor wird durch einen auf der Motorwelle montierten Lüfter gekühlt.

IC 418:
Der Motor wird durch einen in der Regel von einem externen Gebläse erzeugten Luftstrom gekühlt.



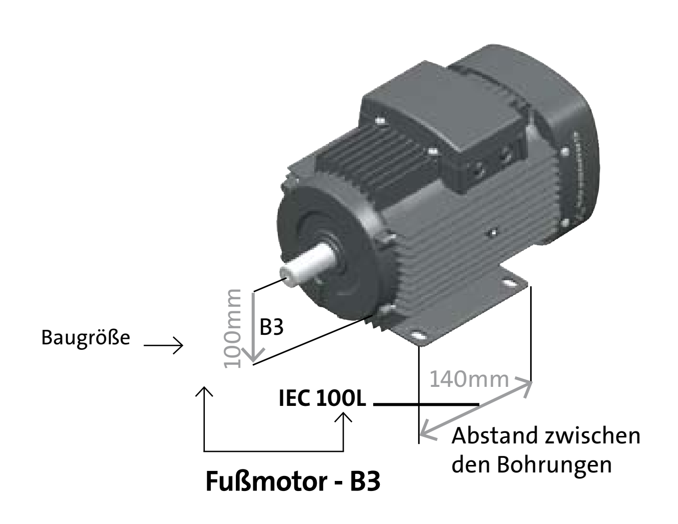
Die Abbildungen zeigen, welche Art der Kühlung Grundfos bei seinen Motoren anwendet.

IEC 60034-7: Aufstellungsarten und Bauformen (IM-Code)

Grundsätzlich gibt es drei Arten von Normmotoren: Fußmotoren, Flanschmotoren mit Gewindebohrungen und Flanschmotoren mit Durchgangsbohrungen. Die Motorbauformen unterscheiden sich darin, wie sie in den verschiedenen Anwendungen montiert sind.

Fußmotor

Diese Motorbauform wird über Füße mit Durchgangsbohrungen in die Anwendung eingebaut. Der Fuß kann entweder im Motorgehäuse integriert (in der Regel bei Motoren aus Grauguss) oder abnehmbar (in der Regel bei Statorgehäusen aus Aluminium) sein.



Fußmotor - B3

Flanschmotor mit Gewindebohrungen

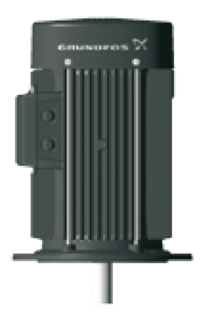
Diese Motorbauform wird mit Hilfe von Schrauben, die in den antriebsseitigen Flansch geschraubt werden, mit der anzutreibenden Maschine verbunden. Am Flansch, der sich auf der Antriebsseite befindet, sind Gewindebohrungen genormter Größe auf einem genormten Lochkreisdurchmesser angeordnet.



Flanschmotor mit Gewindebohrungen - B14/V18

Flanschmotor mit Durchgangsbohrungen

Diese Motorbauform wird mit Hilfe von Schrauben, die durch den antriebsseitigen Flansch hindurchgehen, mit der anzutreibenden Maschine verbunden. Der Durchmesser der Durchgangsbohrungen im Flansch ist genauso wie der Lochkreisdurchmesser genormt.



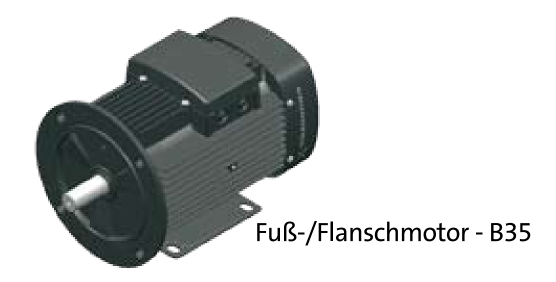
Flanschmotor mit Durchgangsbohrungen - B5/V1

Fuß-/Flanschmotor

Die oben aufgeführten Motorbauformen können in unterschiedlicher Weise kombiniert werden:

- vertikal oder horizontal
- mit einem in unterschiedliche Richtungen zeigendem Wellenende
- mit einem in unterschiedliche Richtungen angeordneten Fuß

Die Kombinationen sind durch unterschiedliche Bauformbezeichnungen gekennzeichnet, die in der Norm IEC 60034-7 durch Codes definiert sind.



Fuß-/Flanschmotor - B35

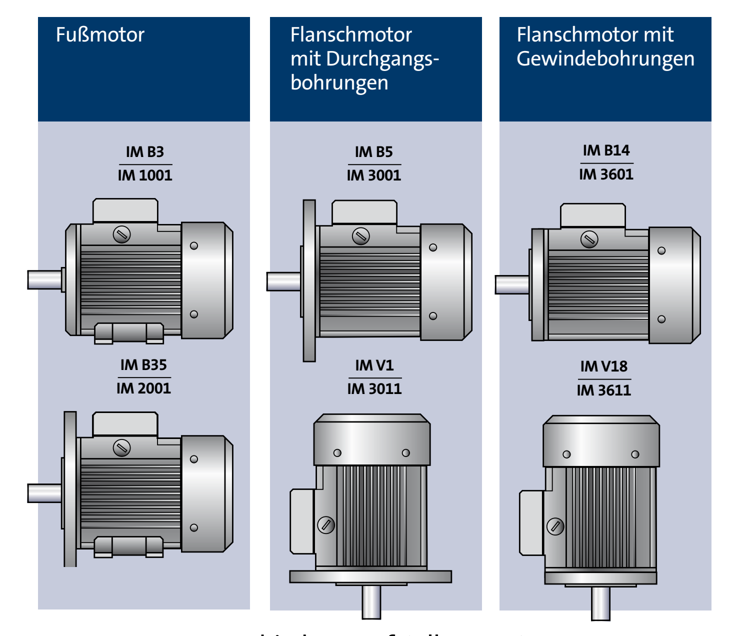


Bezeichnung der Bauformen von Grundfos Normmotoren

Grundfos Normmotoren sind vollständig geschlossene Käfigläufer-Induktionsmotoren mit Abmessungen gemäß IEC 60072-1. Grundfos verwendet die in der Tabelle auf der rechten Seite aufgeführten Bauformbezeichnungen. Motoren werden nach den beiden unterschiedlichen Codes in der Norm IEC 60034-1 benannt:

- Code I nach IEC 60034-7. Das ist die IM-Bezeichnung (Abkürzung für International Mounting), die von der früheren Norm DIN 42590 übernommen wurde.
- Code II nach IEC 60034-7.

Grundfos verwendet in seinen Dokumentationsunterlagen den Code 1 für seine Wechselstrommotoren. Dies ist die geläufigere Bezeichnung auch außerhalb von Grundfos.



Verschiedene Aufstellungsarten

IEC 60034-8: Anschlussbezeichnungen und Drehsinn

Drehstrommotoren

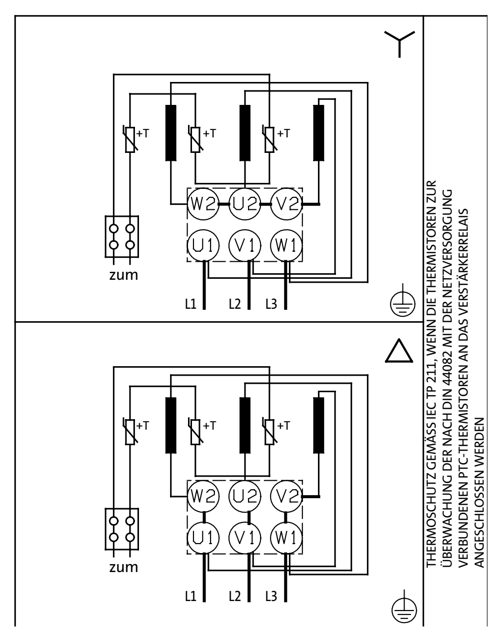
Die Wicklungen werden nach IEC 60034-8 in Stern(Y)-Schaltung oder in Dreieck(Δ)-Schaltung angeschlossen. Die Verdrahtung an der Klemmenleiste erfolgt je nach Anschlussart entsprechend den Schaltplänen auf der rechten Seite. Die Kennzeichnung der Klemmenleiste ist ebenfalls in der IEC 60034-8 definiert.

Stern(Y)-Schaltung

Durch das Überbrücken der Klemmen W2, U2 und V2 und das Anschließen des Netzkabels an die Klemmen W1, U1 und V1 erhält man eine Stern(Y)-Schaltung.

Strom: $I_{Phase} = I_{Netz}$

Spannung: $U_{Phase} = U_{Netz}/\sqrt{3}$



Typischer Schaltplan

Dreieck(Δ)-Schaltung

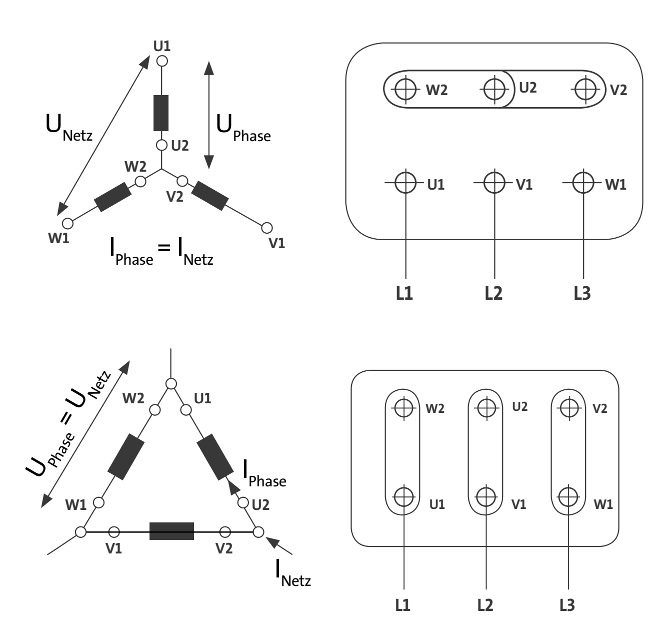
Durch Verbinden des einen Phasenendes mit dem Phasenanfang einer anderen Phase erhält man eine Dreieck(Δ)-Schaltung.

Strom: $I_{Phase} = I_{Netz} / \sqrt{3}$

Spannung: $U_{Phase} = U_{Netz}$

Die Drehrichtung der Motorwelle ist in IEC 60034-8 definiert. Der Drehsinn ist mit Blick auf die Welle entweder im Uhrzeigersinn oder entgegen dem Uhrzeigersinn.

Die Drehrichtung kann ebenfalls an den Klemmenleisten geändert werden. Bei einem Drehstromotor erfolgt die Drehrichtungsänderung durch Tauschen von zwei Netzadern, z.B. L1 und L2. Bei Einphasenmotoren ist der Anschluss anhand des Schaltplans zu prüfen.



IEC 60034-9: Geräuschgrenzwerte für elektrische Motoren

Die zulässigen Geräuschpegel von Elektromotoren sind in der IEC 60034-9 angegeben. Der Geräuschpegel von Grundfos Motoren liegt weit unter den in der Norm definierten Grenzwerten.

IEC 60034-11: Thermischer Schutz (TP-Bezeichnung)

Der thermische Schutzgrad eines Motors ist auf dem Typenschild in Form eines TP-Codes gemäß IEC 60034-11 angegeben.

Grundfos verwendet die TP-Codes (TP 111 und TP 211) bei seinen Normmotoren. Zum Schutz gegen Blockieren sollten TP 111 Motoren immer an ein Überlastrelais angeschlossen werden. Bei einem TP 211 Motor hingegen ist der Anschluss an ein Überlastrelais nicht erforderlich.

Kenn-zeichnung	Technische Überlastung mit Schwankungen (1. Ziffer)	Anzahl der Niveaus und Funktionsbereiche (2. Ziffer)	Kategorie (3. Ziffer)
TP 111	nur langsam (z.B. konstante Überlast)	1 Niveau für Ausschalten	1
TP 112			2
TP 121		2 Niveaus für Alarmmeldung und Ausschalten	1
TP 122			2
TP 211	langsam und schnell (z.B. konstante Überlast und blockierter Zustand)	1 Niveau für Ausschalten	1
TP212			2
TP 221		2 Niveaus für Alarmmeldung und Ausschalten	1
TP 222			2
TP 311	nur schnell (z.B. blockierter Zustand)	1 Niveau für Ausschalten	1
TP 312			2

Angabe des zulässigen Temperaturniveaus, wenn der Motor einer thermischen Überlastung ausgesetzt ist. Die Kategorie 2 erlaubt höhere Temperaturen als Kategorie 1.



IEC 60034-14: Grenzwerte der Schwingstärke für elektrische Motoren

Die zulässigen Grenzwerte der Schwingstärke für elektrische Motoren sind in der Norm IEC 60034-14 angegeben. Alle Grundfos Normmotoren erfüllen die Anforderungen und besitzen den Schwingungsgrad A. In der unten stehenden Tabelle sind die maximal zulässigen Schwingungsgrenzwerte in Form der Auslenkung, der Geschwindigkeit und der Beschleunigung (Effektivwert) für unterschiedliche Baugrößen angegeben. Die Baugröße wird durch den Abstand H vom Fuß zur Mittellinie der Welle definiert.

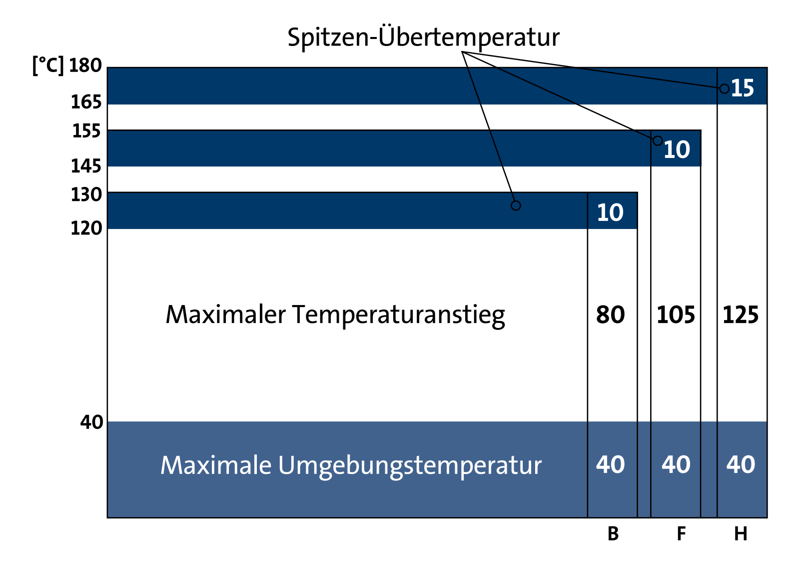
Der Schwingungsgrad wird in der Regel in Form einer Geschwindigkeit angegeben. Alle Rotoren sind dynamisch mit einer halben Passfeder in der Passfedernut ausgewuchtet.

Baugröße [mm]										
Schwingungsgrad	Wellenhöhe in mm	56 ≤ H ≤ 132			132 < H ≤ 280			H > 280		
	Aufstellung	Auslenkung [µm]	Geschwindigkeit [mm/s]	Beschleunigung [m/s²]	Auslenkung [µm]	Geschwindigkeit [mm/s]	Beschleunigung [m/s²]	Auslenkung [µm]	Geschwindigkeit [mm/s]	Beschleunigung [m/s²]
A	mit Dämpfung	25	1,6	2,5	35	2,2	3,5	45	2,8	4,4
	starr, ohne Dämpfung	21	1,3	2,0	29	1,8	2,8	37	2,3	3,6
B	mit Dämpfung	11	0,7	1,1	18	1,1	1,7	29	1,8	2,8
	starr, ohne Dämpfung	-	-	-	14	0,9	1,4	24	1,5	2,4

IEC 62114: Elektrische Isoliersysteme - Thermische Klassifikation

Die Isolationsklassen (Wärmeklassen) und Temperaturanstiege (ΔT) sind in der Norm IEC 62114 definiert. Standardmäßig sind Grundfos EFF2-Motoren für den Betrieb bei Umgebungstemperaturen bis 40 °C und Grundfos EFF1-Motoren für den Betrieb bei Umgebungstemperaturen bis 60 °C ausgelegt. Der maximal zulässige Temperaturanstieg bei Nennlast und Nennspannung entspricht der Klasse B. Das bedeutet, dass die Motoren relativ kalt bleiben, weil der max. Temperaturanstieg nur 80 K beträgt.

Die Temperaturgrenzwerte gelten nur für den Betrieb in einer Installation und nur für die auf dem Typenschild angegeben Daten bei Dauerbetrieb. Bei einem Betrieb mit abweichenden Betriebsbedingungen und Versorgungsspannungen ergeben sich höhere Temperaturgrenzwerte oder die Temperaturgrenzwerte für den Nennbetriebspunkt dürfen überschritten werden.



Wärme-klasse	Maximale Umgebungs-temperatur (°C)	Maximaler Temperatur-anstieg (K)	Spitzen-Über-temperatur (K)	Maximale Wicklungstem-peratur (Tmax) (°C)
B	40	80	10	130
F	40	105	10	155
H	40	125	15	180

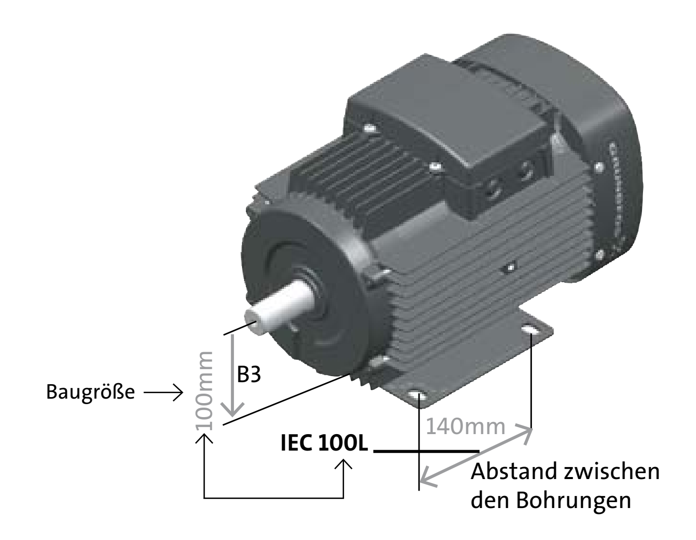
Verschiedene Wärmeklassen und der dazugehörige zulässige Temperaturanstieg bei Nennspannung und Nennlast



IEC 60072 und EN 50347: Abmessungen und Leistungen

Die konstruktive Gestaltung eines Motors ist durch mehrere Parameter gekennzeichnet. Der wichtigste Parameter ist dabei die Baugröße, die durch Informationen zum Anschluss ergänzt wird.

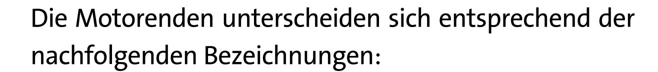
Die Baugröße wird bei beiden Normenausführungen IEC und NEMA als Höhenabstand zwischen dem unteren Ende des Fußes und der Mittellinie der Welle angegeben. Bei Motoren ohne Fuß wird eine Höhe angesetzt, die sich ergibt, wenn der Motor mit einem Fuß ausgestattet wäre. Die Baugröße wird somit auf Basis eines Fußmotors der Bauform B3 ermittelt. Bei Motoren mit einem anderen IM-Code, wie z.B. B5, wird bei der Angabe der Baugröße so getan, als wäre ein Fuß vorhanden. Die Buchstabenkennung, die der Baugröße folgt (S = small (klein), M = medium (mittelgroß) oder L = large (groß)), gibt den Abstand zwischen den im Fuß angeordneten Bohrungen an.



	IEC	NEMA
Baugröße	Höhe in mm gefolgt von einem Buchstaben, der den Längsabstand zwischen den Bohrungen im Fuß in Abhängigkeit der Motorgröße angibt. S = small (klein) M = medium (mittel) L = large (groß)	Für kleine Motoren (bis ca. 1 PS): Höhe in Zoll x 16 Für mittelgroße Motoren (ab ca. 1 PS): Höhe in Zoll x 4 gefolgt von einem oder zwei Ziffern, die den Abstand zwischen den Bohrungen im Fuß in Form eines Codes angeben.
Flansch und weitere Angaben	Durchmesser des Wellenendes in mm FT = Flansch mit Gewindebohrungen FF = Flansch mit Durchgangsbohrungen gefolgt vom Lochkreisdurchmesser in mm	A = Gleichstrommaschine für den Industriebereich C = »C-face« Gewindeflansch T = Genormte Ausführung (In NEMA-Normen werden noch viele weitere Buchstabenkennungen verwendet)
Beispiel 1	**IEC: 112 M 28**	**NEMA: 143T**
Erläuterungen zu Beispiel 1	Fußmotor mit einer Achshöhe von 112 mm. Fuß in mittelgroßer Ausführung Wellenende ø28 mm	Fußmotor mit einer Achshöhe von 3,5”. (14/4 = 3,5) Fuß in Ausführung 3
Beispiel 2	**IEC: 112 - 28 FF 215**	**NEMA: 143TC**
Erläuterungen zu Beispiel 2	Baugröße 112, Wellenende ø28 mm. Flansch mit Durchgangsbohrungen und einem Lochkreisdurchmesser von 215 mm.	Baugröße 143. Gewindeflansch »C-face«.

Bedeutung der wichtigsten Motorangaben nach IEC und NEMA

IEC 60072 und EN 50347: Abmessungen und Leistungen



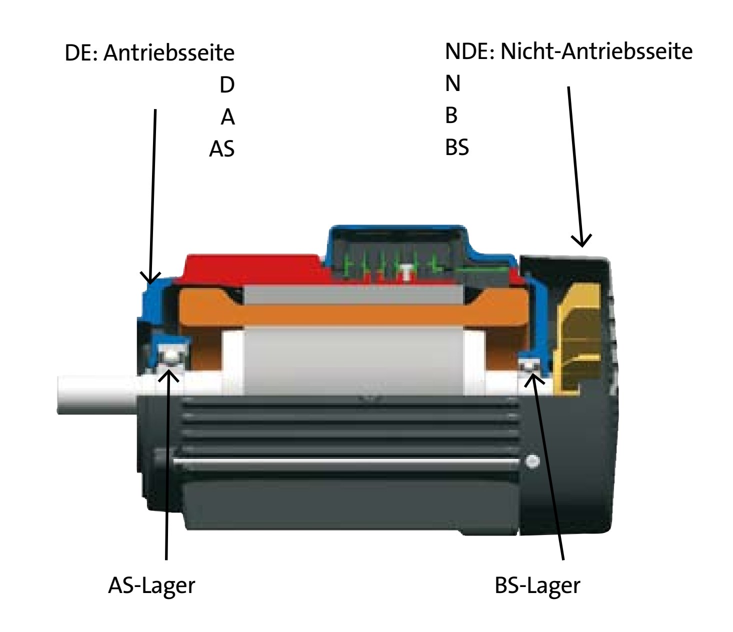
Die Motorenden unterscheiden sich entsprechend der nachfolgenden Bezeichnungen:

D oder DE steht für „Drive End“.
N oder NDE steht für “Non- Drive End”, d.h. dort wo der Lüfter angeordnet ist.

In einigen Fällen wird auch die deutsche Bezeichnung verwendet:

A oder AS für „Antriebsseite“ (entspricht D oder DE).
B oder BS für “Belüftungsseite” (Lüfterseite): »Nicht-Antriebsseite«.

Die Abmessungen eines Motors mit den dazugehörigen Toleranzen sind in der Regel in den Herstellerkatalogen oder Datenblättern angegeben. Sie sind jedoch auch in den Normen IEC 60072-1 und EN 50347 zu finden.



Bezeichnungen für die Abtriebsseite und Nichtabtriebsseite eines Motors

Es ist zu beachten, dass in den Normen von IEC und NEMA keine Richtlinien für die Leistungsaufnahme oder Wellenleistung der einzelnen Baugrößen aufgestellt worden sind. Es gibt jedoch eine weitestgehend im Markt akzeptierte Praxis, die eine Beziehung zwischen Baugröße und Leistung herstellt. Sie geht aus den Angaben in verschiedenen Herstellerkatalogen hervor.

IEC 60072: Abmessungen und Leistungen

In dieser Norm sind die genormten äußeren Abmessungen einschließlich Toleranzen für die Baugrößen 56 bis 400 definiert. Eine Beziehung zwischen Nennausgangsleistung und der Baugröße wird nicht aufgestellt.

EN 50 347

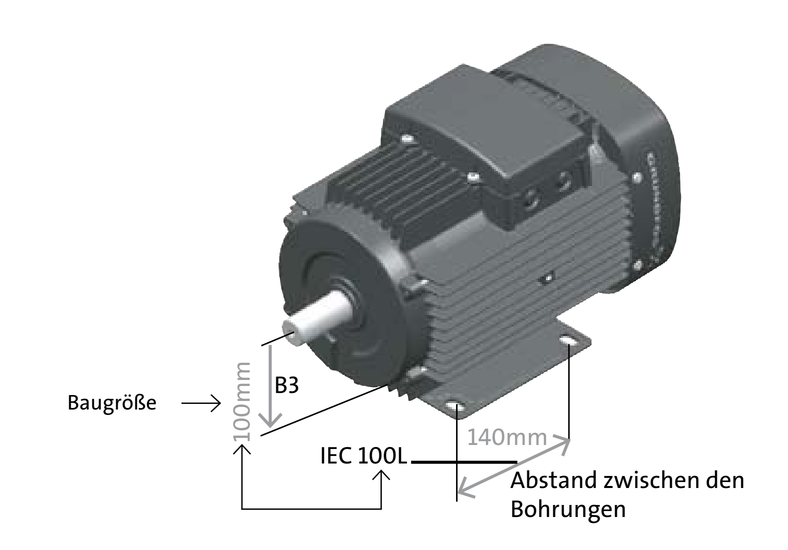
In dieser Norm sind die genormten äußeren Abmessungen einschließlich Toleranzen definiert. Sie entsprechen den Angaben in der IEC 60072-1. Hier wird jedoch auch eine Beziehung zwischen der Wellenleistung und der Baugröße für die Baugrößen 56 bis 315M und die Flanschgrößen 65 bis 740 definiert.



Zusammenhang zwischen Baugröße, Wellenende, Motorleistung sowie Flanschart und Flanschgröße

Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt den Zusammenhang zwischen Baugröße, Wellenende, Motorleistung sowie Flanschart und Flanschgröße. Für Motoren der Baugröße 56 bis 315M ist die Beziehung der einzelnen Größen zueinander in der EN 50347 definiert. Es gibt jedoch keine Normen, die einen Zusammenhang zwischen den Größen für Baugrößen ab 315L definiert. Verschiedene Motorhersteller verwenden jedoch die in der unten stehenden Tabelle aufgeführten Werte.

Die Flansch- und Wellenabmessungen entsprechen der Norm EN 50347. Einige Pumpen haben eine Kupplung und benötigen deshalb ein glattes Motorwellenende oder eine spezielle Länge des Wellenendes, die nicht in den Normen definiert ist.



1	2		3				4	
Baugröße	Durchmesser Wellenende		Nennleistung				Flanschgröße	
	2-polig	4-, 6-, 8-polig	2-polig	4-polig	6-polig	8-polig	Flansch mit Durchgangs-bohrungen	Flansch mit Gewinde-bohrungen
	[mm]	[mm]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	(FF)	(FT)
56	9	9	0,09 / 0,12	0,06 / 0,09	-	-	FF100	FT65
63	11	11	0,18 / 0,25	0,12 / 0,18	-	-	FF115	FT75
71	14	14	0,37 / 0,55	0,25 / 0,37	-	-	FF130	FT85
80	19	19	0,75 / 1,1	0,55 / 0,75	0,37 / 0,55	-	FF165	FT100
90S	24	24	1,5	1,1	0,75	0,37	FF165	FT115
90L	24	24	2,2	1,5	1,1	0,55	FF165	FT115
100L	28	28	3	2,2 / 3	1,5	0,75 / 1,1	FF215	FT130
112M	28	28	4	4	2,2	1,5	FF215	FT130
132S	38	38	5,5 / 7,5	5,5	3	2,2	FF265	FT165
132M	-	38	-	7,5	4 / 5,5	3	FF265	FT165
160M	42	42	11; 15	11	7,5	4; 5.5	FF300	FT215
160L	42	42	18,5	15	11	7,5	FF300	FT215
180M	48	48	22	18,5	-	-	FF300	-
180L	-	48	-	22	15	11	FF300	-
200L	55	55	30; 37	30	18,5 / 22	15	FF350	-
225S	-	60	-	37	30	18,5	FF400	-
225M	55	60	45	45	-	22	FF400	-
250M	60	65	55	55	37	30	FF500	-
280S	65	75	75	75	45	37	FF500	-
280M	65	75	90	90	55	45	FF500	-
315S	65	80	110	110	75	55	FF600	-
315M	65	80	132	132	90	75	FF600	-
315L	65	80	160; 200; 250	-	-	-	FF600	-
355	75	100	315; 355; 400; 450; 500	315; 355; 400; 450; 500	-	-	FF740	-
400	80	100	560; 630; 710	560; 630; 710	-	-	FF840	-
450	90	120	800; 900; 1000	800; 900; 1000	-	-	FF940	-



Buchstabensymbole und Maßskizzen

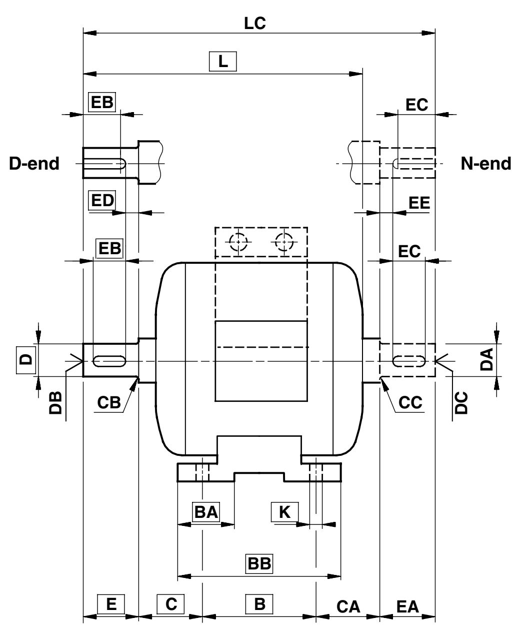
In der Norm aEN 50437 sind die folgenden Buchstabenkennungen zur Bezeichnung der Abmessungen von Motoren in Maßskizzen definiert. Die Buchstabensymbole kennzeichnen die Abmessungen eines Motors.
Pflichtangaben sind mit einem Stern (*) gekennzeichnet.

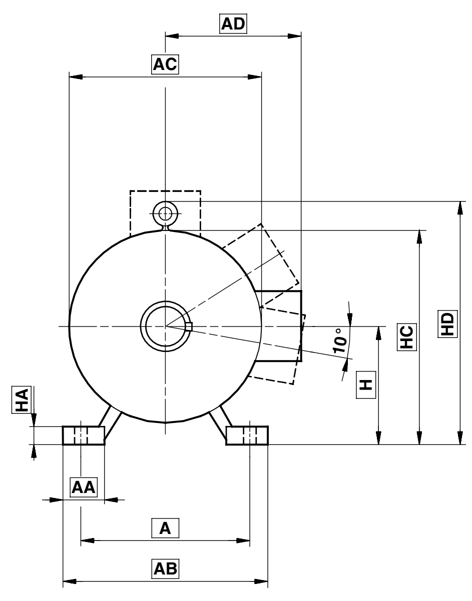
IEC-Norm	DIN-Norm	Beschreibung
*A	b	Abstand zwischen den Mittellinien der Befestigungsbohrungen (Vorderansicht)
AA	n	Breite eines Fußes (Vorderansicht)
AB	f	Gesamtbreite über die Füße gemessen (Vorderansicht)
AC	g	Durchmesser des Motors
AD	p1	Abstand von der Mittellinie des Motors bis zum äußeren Ende des Klemmenkastens oder bis zu einem anderen am weitesten abstehenden Bauteil, das am Motor montiert ist
*B	a	Abstand zwischen den Mittellinien der Befestigungsbohrungen (Seitenansicht)
BA	m	Länge eines Fußes (Seitenansicht)
BB	e	Gesamtlänge über die Füße gemessen (Seitenansicht)
*C	w1	Abstand vom Wellenbund auf der Antriebsseite bis zur Mittellinie der Befestigungsbohrung des am nächsten gelegenen Fußes
CA		Abstand vom Wellenbund auf der Nicht-Antriebsseite bis zur Mittellinie der Befestigungsbohrung des am nächsten gelegenen Fußes
*CB		Rundungsradius am Wellenbund auf der Antriebsseite
CC		Rundungsradius am Wellenbund auf der Nicht-Antriebsseite
*D	d	Wellendurchmesser auf der Antriebsseite
DA		Wellendurchmesser auf der Nicht-Antriebsseite
DB	d6	Gewindegröße der Zentrierbohrung auf der Antriebsseite
DC		Gewindegröße der Zentrierbohrung auf der Nicht-Antriebsseite
*E	l	Länge des Wellenendes auf der Antriebsseite vom Wellenbund aus gemessen
EA		Länge des Wellenendes auf der Nicht-Antriebsseite vom Wellenbund aus gemessen
*EB		Länge der Paßfeder auf der Antriebsseite
EC		Länge der Paßfeder auf der Nicht-Antriebsseite
*ED		Abstand vom Wellenbund auf der Antriebsseite bis zum nächstgelegenen Ende der Paßfedernut
EE		Abstand vom Wellenbund auf der Nicht-Antriebsseite bis zum nächstgelegenen Ende der Paßfedernut
*F	u	Breite der Paßfedernut oder der Paßfeder auf der Antriebsseite
FA		Breite der Paßfedernut oder der Paßfeder auf der Nicht-Antriebsseite
*FB		Rundungsradius unten an der Paßfedernut auf der Antriebsseite
FC		Rundungsradius unten an der Paßfedernut auf der Nicht-Antriebsseite
G		Abstand von der Aussparung der Paßfedernut bis zur gegenüberliegenden Wellenoberfläche auf der Antriebsseite
*GA	t	Abstand von der Paßfeder bis zur gegenüberliegenden Wellenoberfläche auf der Antriebsseite
GB		Abstand von der Aussparung der Paßfedernut bis zur gegenüberliegenden Wellenoberfläche auf der Nicht-Antriebsseite

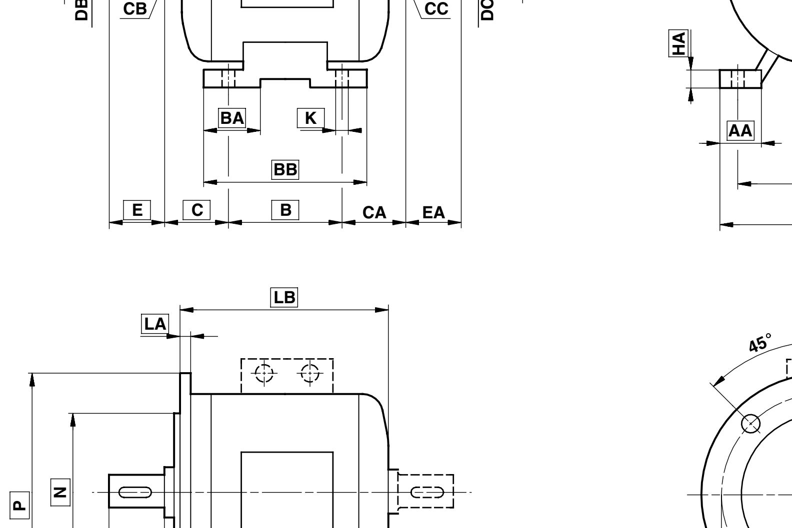
ANMERKUNG
Die in der Tabelle aufgeführten Buchstabenkennungen umfassen alle in der IEC 60072-1 aufgelisteten Buchstaben. Sie werden ergänzt um die in der gleichlautenden EN-Norm definierten Buchstabenkennungen.
R: Dieses Maß ist in der Regel 0 und wird deshalb in Unterlagen und Zeichnungen häufig weggelassen.

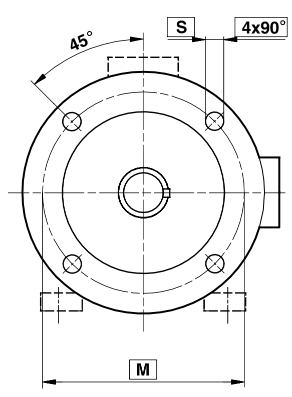
IEC-Norm	DIN-Norm	Beschreibung
GC		Abstand von der Paßfeder bis zur gegenüberliegenden Wellenoberfläche auf der Nicht-Antriebsseite
*GD		Höhe der Paßfeder auf der Antriebsseite
*GE		Tiefe der Paßfedernut auf der Antriebsseite vom Scheitelpunkt des Wellenendes aus gemessen
GF		Höhe der Paßfeder auf der Nicht-Antriebsseite
GH		Tiefe der Paßfedernut auf der Nicht-Antriebsseite vom Scheitelpunkt des Wellenendes aus gemessen
*H	h	Abstand zwischen der Mittellinie der Welle bis zum unteren Ende des Fußes (Grundmaß)
H’		Abstand von der Mittellinie der Welle bis zur Montagefläche - d.h. bis zum Fußende bei Ausführungen mit hochgestellten Füßen
HA	c	Höhe des Fußes
HC		Abstand von oben bis unten zum Fuß bei horizontal aufgestelltem Motor
HD	p	Abstand von der Hebeöse, dem Klemmenkasten oder dem am weistesten abstehenden oben auf dem Motor montiertem Bauteil bis zum unteren Fußende
HE		Abstand von der Montagefläche bis zur tiefsten Stelle des Motors bei Ausführungen mit hochgestellten Füßen
*K	s	Durchmesser der Bohrungen oder Breite der Langlöcher im Motorfuß
L	k	Gesamtlänge des Motors mit einem Wellenende
LA	c1	Dicke des Flansches
LB		Abstand von der Montagefläche des Flansches bis zum Motorende
LC		Gesamtlänge des Motors bei Motoren mit einem zusätzlichem Wellenende auf der Nicht-Antriebsseite
*M	e1	Lochkreisdurchmesser der Befestigungsbohrungen
*N	b1	Durchmesser des Führungsabsatzes
*P	a1	Außendurchmesser des Flansches oder bei einer nicht kreisförmigen Kontur zweimal das maximale radiale Abmaß
*R		Abstand von der Montagefläche bis zum Wellenbund
*S	s1	Durchmesser der Befestigungsbohrungen im Montageflansch oder Nenndurchmesser des Gewindes
*T	f1	Tiefe des Führungsabsatzes

IEC 60072 und EN 50347: Abmessungen und Leistungen

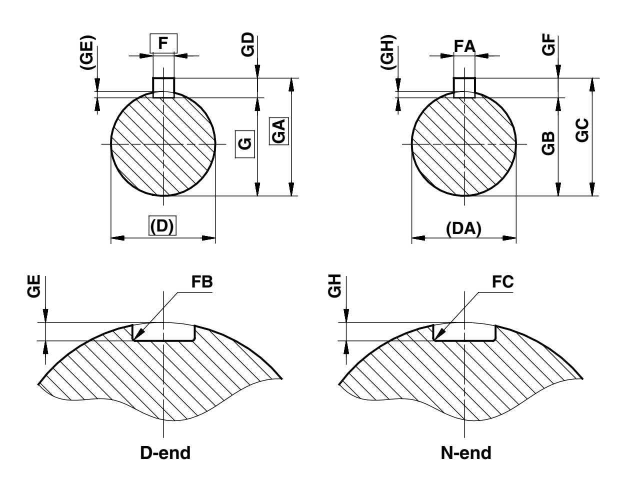


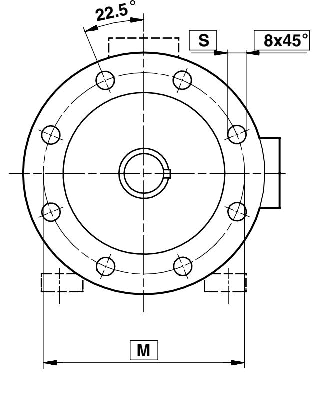






FF ≤ 350
Baugröße ≤ 200





FF > 350
Baugröße > 200

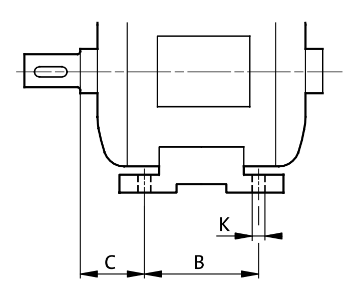
Die Abmessungen der Grundfos Motoren entsprechen den Normen.

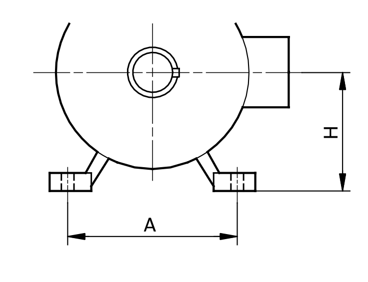
2)



Abmessungen Motorfuß

Die Fußabmessungen aller Motoren entsprechen der Norm EN 50347. Die Fußabmessungen der Motoren mit einer Achshöhe von 56 bis 450 mm sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

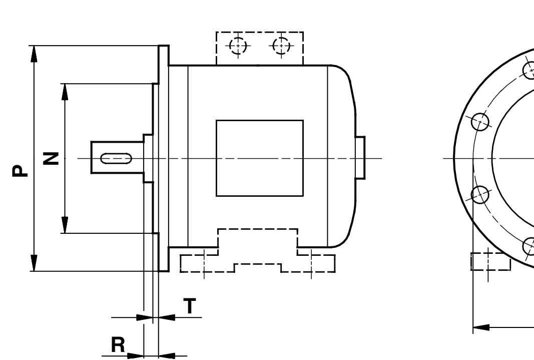


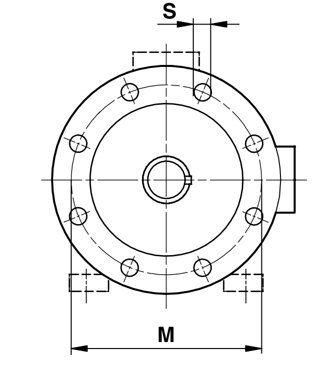


	H	A	B	C	K	
Baugröße	Nennachshöhe [mm]	mm	mm	mm	Nenn-durchmesser [mm]	Bolzen oder Schraube
56M	56	90	71	36	5,8	M5
63M	63	100	80	40	7	M6
71M	71	112	90	45	7	M6
80M	80	125	100	50	10	M8
90S	90	140	100	56	10	M8
90L	90	140	125	56	10	M8
100L	100	160	140	63	12	M10
112M	112	190	140	70	12	M10
132S	132	216	140	89	12	M10
132M	132	216	178	89	12	M10
160M	160	254	210	108	14,5	M12
160L	160	254	254	108	14,5	M12
180M	180	279	241	121	14,5	M12
180L	180	279	279	121	14,5	M12
200M	200	318	267	133	18,5	M16
200L	200	318	305	133	18,5	M16
225S	225	356	286	149	18,5	M16
225M	225	356	311	149	18,5	M16
250S	250	406	311	168	24	M20
250M	250	406	349	168	24	M20
280S	280	457	368	190	24	M20
280M	280	457	419	190	24	M20
315S	315	508	406	216	28	M24
315M	315	508	457	216	28	M24
315	315	560	630	180	26	M24
355	355	630	800	200	33	M24
400	400	710	900	224	33	M24
450	450	800	1000	250	39	M24

Abmessungen von Flanschen mit Gewindebohrungen und Durchgangsbohrungen

Die Flanschabmessungen aller Motoren entsprechen der Norm EN 50347.
Für Motoren, die sowohl Füße als auch Flansche (mit Durchgangsbohrungen) als Montagefläche besitzen, sind die Maße A, B und C (Maße des Fußmotors) anzugeben.



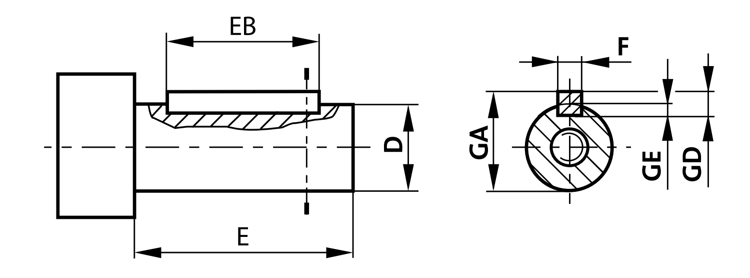


Flanschgröße FF oder FT	M	N	P	R	Anzahl der Bohrungen	S		T
	mm	mm	mm	mm		Durchgangsbohrungen (FF) in mm	Gewindebohrungen (FT)	mm
65	65	50	80	0	4	5,8	M5	2,5
75	75	60	90	0	4	5,8	M5	2,5
85	85	70	105	0	4	7	M6	2,5
100	100	80	120	0	4	7	M6	3
115	115	95	140	0	4	10	M8	3
130	130	110	160	0	4	10	M8	3,5
165	165	130	200	0	4	12	M10	3,5
215	215	180	250	0	4	14,5	M12	4
265	265	230	300	0	4	14,5	M12	4
300	300	250	350	0	4	18,5	M16	5
350	350	300	400	0	4	18,5	M16	5
400	400	350	450	0	8	18,5	M16	5
500	500	450	550	0	8	18,5	M16	5
600	600	550	660	0	8	24	M20	6
740	740	680	800	0	8	24	M20	6
940	940	880	1000	0	8	28	M24	6
1080	1080	1000	1150	0	8	28	M24	6



Abmessungen von Wellenenden

Die Abmessungen der Wellenenden für alle Motoren entsprechen der Norm EN 50347.



Baugröße	Welle Durchmesser Polzahl 2	Welle Durchmesser Polzahl 4,6,8
63M	11	11
71M	14	14
80M	19	19
90S	24	24
90L		
100L	28	28
112M	28	
132S	38	38
132M		
160M	42	42
160L		
180M	48	48
180L		
200L	55	55
225S		60
225M		
250M	60	65
280S 280M	65	75
315S 315M	65	80
355	75	100
400	80	
450	90	120

Welle		Paßfeder			Paßfedernut			Zentrierbohrung
Durchmesser (D)	Länge (E)	Länge (EB)	Breite (F)	Höhe (GD)	Breite (F)	Tiefe (GE)	(GA)	(DB)
Nennmaß mm	Nennmaß mm	Mindestmaß mm	Nennmaß mm	Nennmaß mm	Nennmaß mm	Nennmaß mm	Nennmaß mm	Gewinde
11	23	16	4	4	4	2,5	12,5	M4
14	30	22	5	5	5	3	16	M5
19	40	32	6	6	6	3,5	21,5	M6
24	50	40	8	7	8	4	27	M8
28	60	50	8	7	8	4	31	M10
38	80	70	10	8	10	5	41	M12
42	110	90	12	8	12	5	45	M16
48	110	100	14	9	14	5,5	51,5	M16
55	110	100	16	10	16	6	59	M20
60	140	125	18	11	18	7	64	M20
65	140	125	18	11	18	7	69	M20
70	140	125	20	12	20	7,5	74,5	M20
75	140	125	20	12	20	7,5	79,5	M20
80	170	140	22	14	22	9	85	M20
90	170	140	25	14	25	9	95	M20
100*	170	140	28	16	28	10	106	M20
120*	210	180	32	18	32	11	127	M24

* 100 und 120 abweichend von der Norm EN 50347.

Gemäß der Norm EN 50347 ist das Wellenende bei Motoren der Baugröße IEC 90 und größer als Gewinde ausgeführt. Standardmäßig sind die Motoren ansonsten mit einer Paßfeder zur Drehmomentübertragung ausgestattet. Diese Motoren werden immer mit eingelegter Paßfeder geliefert.



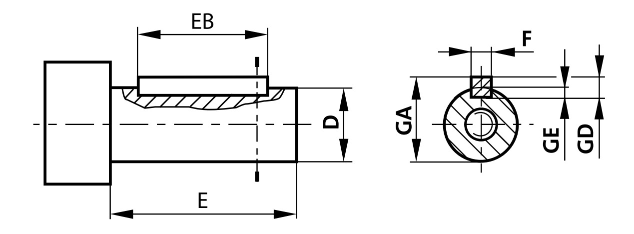
Mechanische Toleranzen

Die mechanischen Toleranzen entsprechen vollständig den Angaben in den Normen IEC 60072-1 und EN 50347.

Beschreibung	Passung oder Toleranz	Buchstabenkennung gemäß EN 50347	Buchstabenkennung gemäß DIN 42939
Baugröße			
Baugröße = Fußende bis Mittellinie der Welle		H	h
H ≤ 250	+0,0/- 0,5 mm		
H ≥ 280	+0/ - 1 mm		
Fuß			
Abstand der Befestigungbohrungen im Fuß in Längsrichtung	1 mm	B	a
Abstand der Befestigungbohrungen im Fuß in Querrichtung	1 mm	A	b
Durchmesser der Befestigungsbohrungen im Fuß	H17	K	s
Baugröße			
Durchmesser oder Kantenmaß des Anbauflansches	nur zur Minusseite	P	a1
Durchmesser des Flanschabsatzes	ø ≤ 250 mm, j6 ø ≥ 300 mm, h6 Dies entspricht FF oder FT ≤ 300 mm, j6 FF oder FT ≥ 350 mm, h6	N	b1
Durchmesser der Befestigungsbohrungen im Flansch	H17	S	s1



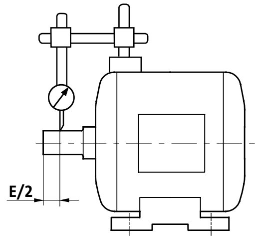
Welle und Paßfeder



Durchmesser des Wellenendes	Passung oder Toleranz	Buchstabenkennung gemäß EN 50347	Buchstabenkennung gemäß DIN 42939
11 bis 28 mm	j6	D	d
32 bis 48 mm	k6		
55 mm und größer	m6		
Länge des Wellenendes auf der Antriebsseite vom Wellenbund aus gemessen			
Für Wellenendendurchmesser ≤ 55 mm	– 0,3 mm	E	l
Für Wellenendendurchmesser ≥ 60 mm	– 0,5 mm		
Paßfederbreite	h9	F	u
Paßfederhöhe			
In Querrichtung	h9	GD	-
In Längsrichtung	h11	EB	-
Untere Wellenfläche bis Paßfeder	+ 0,2 mm	GA	t
Breite der Paßfedernut in der Antriebswelle	N9	F	-
Abstand Wellenbund - Flanschfläche, Festlager Antriebsseite	± 0,5 mm	L	-

IEC 60072-1: Messen von Toleranzen

Wird der Motor zum Austauschen der Lager zerlegt, sind der Rundlauf des Wellenendes und die Flanschtoleranzen entsprechend der internationalen Norm IEC 60072-1 zu überprüfen.



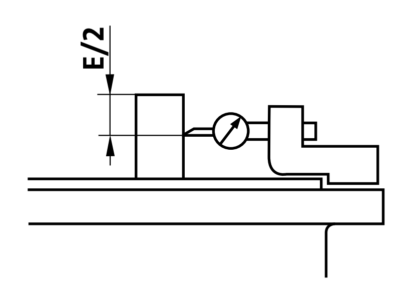
Rundlaufabweichung am Wellenende bei B3-Motoren

Rundlaufabweichung am Wellenende

Wellendurchmesser	>10 bis 18 mm	>18 bis 30mm	>30 bis 50 mm	>50 bis 80 mm	>80 bis 120 mm
Rundlauf µm	35 µm (0,035 mm)	40 µm (0,040 mm)	50 µm (0,050 mm)	60 µm (0,060 mm)	70 µm (0,070 mm)

Max. Exzentrizität der Welle bei Flanschmotoren (Standardreihe)

Zum Messen der Rundlaufabweichung des Wellenendes den Zeiger der Messuhr in Längsrichtung gesehen mittig an der Wellenoberfläche ansetzen. Den maximalen und minimalen Wert an der Messuhr nach einer langsamen Umdrehung der Welle ablesen. Die Differenz zwischen den beiden abgelesenen Werten darf den in der oberen Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten.
Die Überprüfung kann bei horizontal oder vertikal aufgestelltem Motor erfolgen. Dabei kann die Messuhr dirket am Motor montiert sein oder auf einer Unterlage, auf dem der Motor und die Messuhr befestigt sind.



Rundlaufabweichung am Wellenende bei B14-/V18-/B5-/V1-Motoren

Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes

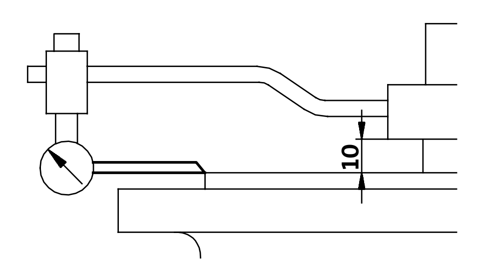
Flansch (FF) oder Kopfplatte (FT)	FF 55 bis FF 115	FF130 bis FF 265	FF 300 bis FF 500	FF 600 bis FF 740	FF 940 bis FF 1080
µm	80 µm (0,08 mm)	100 µm (0,10 mm)	125 µm (0,125 mm)	160 µm (0,16 mm)	200 µm (0,20 mm)

Max. Toleranzen für die Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes

Zum Messen der Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes die Messuhr fest am Wellenende mit einem Abstand von 10 mm von der Montagefläche des Flansches montieren.

Den maximalen und minimalen Wert an der Messuhr nach einer langsamen Umdrehung der Welle ablesen. Die Differenz zwischen den beiden an der Messuhr abgelesen Extremwerten für die Rundlaufgenauigkeit darf den in der oberen Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten.

Die Überprüfung bei vertikaler Motorwelle durchführen, damit die Messung frei vom Einfluss der Schwerkraft ist.

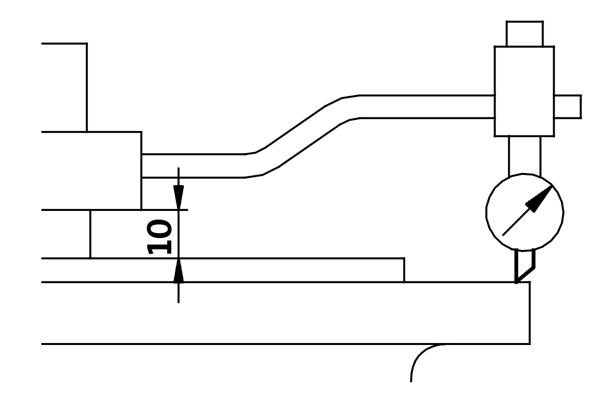


Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes



Danach zum Messen der Rechtwinkligkeit die Messuhr wieder fest am Wellenende mit einem Abstand von 10 mm von der Montagefläche des Flansches montieren, siehe Abbildung auf der rechten Seite.

Den maximalen und minimalen Wert an der Messuhr nach einer langsamen Umdrehung der Welle ablesen. Die Differenz zwischen den beiden an der Messuhr abgelesenen Extremwerten für die Rechtwinkligkeit darf den in der unteren Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten. Es wird empfohlen, die Messungen an dem Motor bei vertikaler Welle vorzunehmen, um das Axialspiel im Lager auszuschalten.



Rechtwinkligkeit zwischen der Montagefläche des Flansches und der Welle

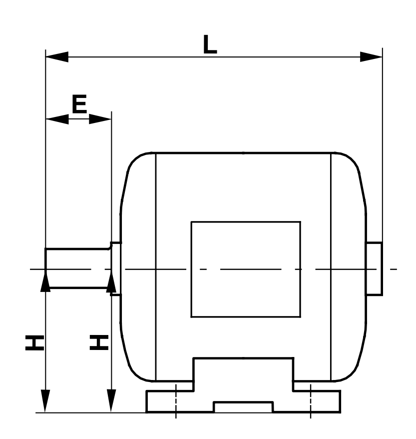
Flansch (FF) oder Kopfplatte (FT)	FF 55 bis FF 115	FF130 bis FF 265	FF 300 bis FF 500	FF 600 bis FF 740	FF 940 bis FF 1080
µm	80 µm (0,08 mm)	100 µm (0,10 mm)	125 µm (0,125 mm)	160 µm (0,16 mm)	200 µm (0,20 mm)

Parallelität zwischen Welle und Montagefläche

Grenzwerte für die Abweichung der Messwerte für H an beiden Enden der Welle (mm)			
Baugröße	Länge der Welle (mm)		
	<2,5 H	≥ 2,5 H ≤ 4 H	>4 H
> 56 bis 250 > 250 bis 315	0,5 1	0,8 1,5	1 2

HINWEIS: Die Toleranzangabe gilt für die gesamte Länge der Welle einschließlich der Wellenenden.

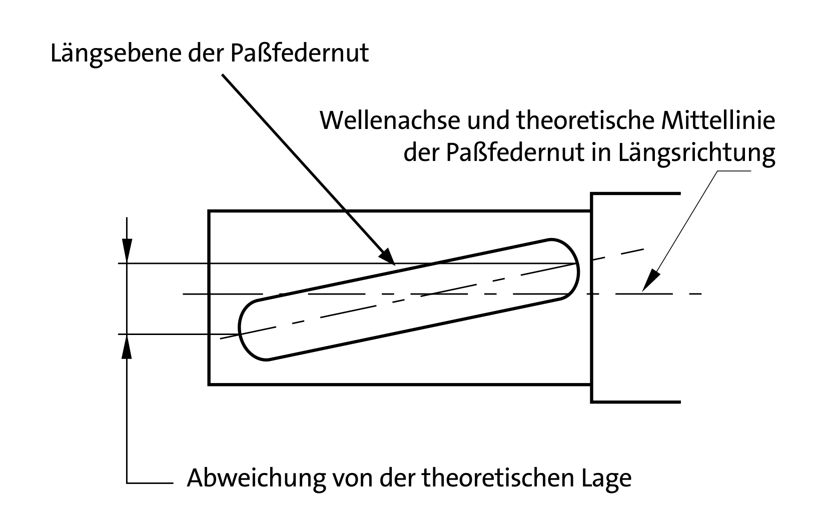
Die Messpunkte für H sollten sich über die gesamte Welle erstrecken, wenn beide Wellenenden zugänglich sind. Ist dies nicht der Fall sind die Messpunkte an beiden Enden des zugänglichen Wellenendes zu nehmen. Dann wird die Paralellität proportional zur gesamten Länge der Welle berechnet.





Parallelität zwischen Paßfedernut und Wellenachse

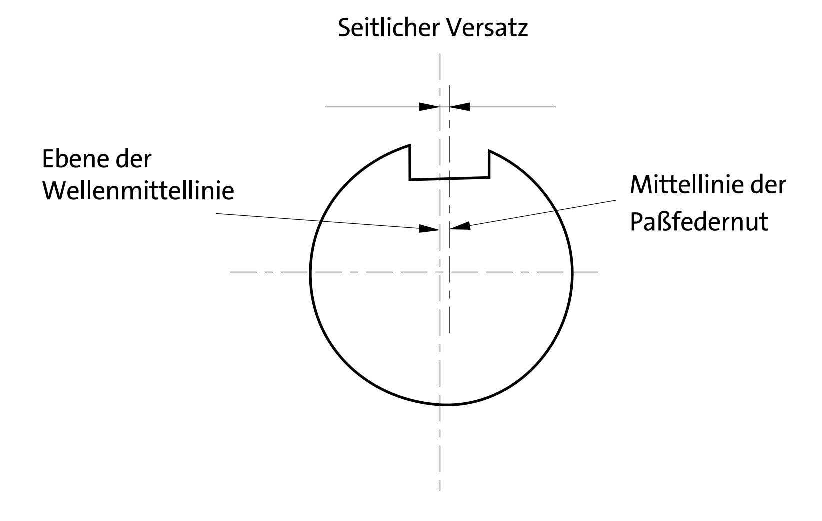
Die Toleranz für die Parallelität ist in der nachfolgenden Tabelle angegeben. Die Parallelität der Paßfedernut zur Wellenachse ist definiert als die max. zulässige Abweichung zwischen der tatsächlichen Mittellinie der Paßfedernut in Längsrichtung und der theoretischen tatsächlichen Mittellinie der Paßfedernut in Längsrichtung, die mit der Mittellinie der Welle zusammenfällt, siehe die Abbildung auf der rechten Seite. Der Abstand zwischen den beiden Längsflächen, der an den beiden Enden der nutzbaren Länge der Paßfedernut gemessen wird, muss innerhalb der in der nachfolgenden Tabelle aufgeführten Werte liegen.



Nennmaß EB (EC) in (mm)	Max. Abweichung von der theoretischen Lage an den beiden Enden von EB (EC) in mm
≤ 100 > 100	≤ 0,05 ≤ 0,0005 • EB (EC)

Seitlicher Versatz der Paßfedernut

Die Toleranz für den seitlichen Versatz der Paßfedernut beträgt 0,1 mm. Der seitliche Versatz der Paßfedernut ist definiert als die größte Abweichung an jedem Punkt entlang der nutzbaren Länge der Paßfedernut. Diese Abweichung entspricht dem Abstand von der Mittellinie der Paßfedernut zur vertikalen Mittellinie des Wellenendes, die rechtwinklig zur tatsächlichen Bodenfläche der Paßfedernut verläuft, siehe die Abbildung auf der rechten Seite.





CE-Kennzeichen

Mit dem Anbringen des CE-Kennzeichens bestätigt der Hersteller/Inverkehrbringer, dass das Produkt die in den entsprechenden EU-Richtlinien und harmonisierten EN-Normen definierten Sicherheitsanforderungen erfüllt.

Alle in den EU-Richtlinien aufgeführten Produkte, die innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) vertrieben werden, müssen das CE-Kennzeichen tragen. Zu den Ländern des Europäischen Wirtschaftsraums gehören die EU-Mitgliedsstaaten, Norwegen, Island und Liechtenstein. Das Ziel der CE-Kennzeichnung ist ein einheitliches Sicherheitsniveau hinsichtlich der mechanischen und elektrischen Gefährdungen in Verbindung mit Maschinen und elektrischen Betriebsmitteln innerhalb der Europäischen Union zu gewährleisten. Verfügt das Produkt über ein CE-Kennzeichen, darf kein Staat innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums das Inverkehrbringen oder Installieren des Produkts verbieten oder behindern.

Die folgenden EU-Richtlinien beschreiben das CE-Konformitätsverfahren für die Produkte, für die sie gelten:

- **Maschinenrichtlinie 98/37**
  Die Richtlinie schreibt vor, dass keine Maschine innerhalb der EU in Verkehr gebracht oder installiert werden darf, die nicht das CE-Kennzeichen trägt.

- **EMV-Richtlinie 2004/108**
  Die Richtlinie schreibt vor, dass kein elektrisches Betriebsmittel innerhalb der EU in Verkehr gebracht oder installiert werden darf, das nicht das CE-Kennzeichen trägt.

- **Niederspannungsrichtlinie 2006/95**
  Die Richtlinie schreibt vor, dass kein elektrisches Betriebsmittel mit einer Spannung von mehr als 48 V innerhalb der EU in Verkehr gebracht oder installiert werden darf, das nicht das CE-Kennzeichen trägt.

Seit 1995 werden alle Grundfos Produkte in Übereinstimmung der Richtlinien zur CE-Kennzeichnung hergestellt, die für die Staaten des Europäischen Wirtschaftsraums verbindlich sind. Für



Staaten außerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums gibt es keine gesetzliche Regelung bezüglich der CE-Kennzeichnung. Das CE-Kennzeichen ist kein Qualitätssiegel oder Zulassungszertifikat wie das UL- oder VDE-Zeichen.

Zulassungen

Grundfos MG-Motoren sind mit cURus-Zulassung lieferbar. Die cURus-Zulassung ist eine Komponentenanerkennung gemäß UL und CSA. Das bedeutet, dass automatisch eine UL-Zulassung besteht, wenn der Motor in eine Anwendung eingebaut wird, wie z.B. an einer Pumpe. Die cURus-Zulassung berechtigt zum Anbringen der folgenden Zeichen: Komponentenanerkennungszeichen UL und kanadisches Komponentenanerkennungszeichen CSA.





Normen zur Energieeffizienz

Die Motorenhersteller verwenden die Bezeichnung “Hocheffizienzmotor” bereits seit vielen Jahren. Dennoch ist es für den Verbraucher schwierig zu erkennen, welche Motoren tatsächlich zur Energieeinsparung beitragen. Denn alle Motorenhersteller nehmen für sich in Anspruch, Hocheffizienzmotoren herzustellen.

EPAct

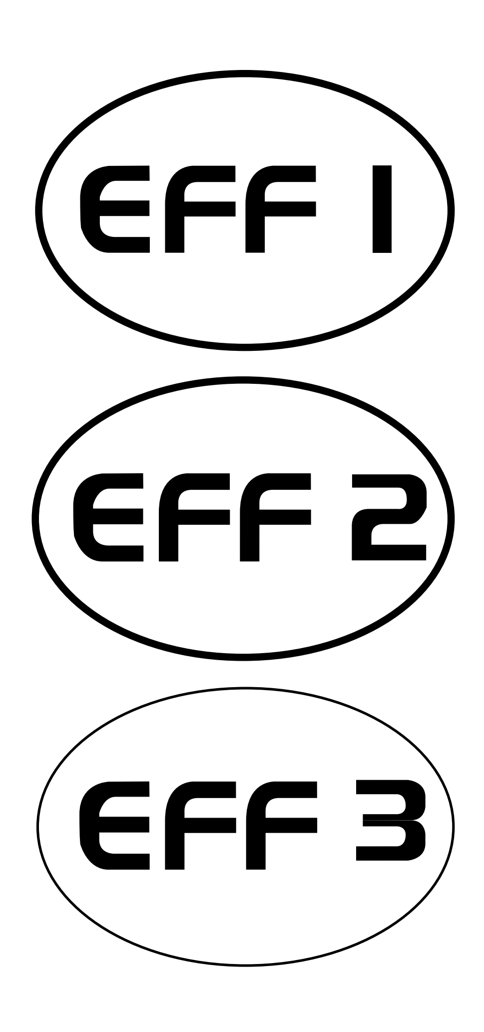
Deshalb hat der Amerikanische Kongress 1992 ein neues Gesetz verabschiedet – das Gesetz zur Energiepolitik (Energy Policy Act (EPAct) – das am 24. Oktober 1997 in Kraft trat. Das Ziel dieses Gesetzes ist, den Energieverbrauch in den USA zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, schreibt das Gesetz vor, dass alle importierten oder in den USA hergestellten Fußmotoren für die Industrie die in der EPAct-Liste aufgeführten Mindestanforderungen bezüglich des Wirkungsgrads erfüllen müssen.

MEPS

Für Australien gelten die MEPS-Vorschriften. MEPS steht für Minimum Energy Performance Standards und bedeutet frei übersetzt Mindeststandards für den Energieverbrauch.
Seit 2001 müssen alle dreiphasigen Elektromotoren von 0,73 kW bis 185 kW die MEPS-Anforderungen erfüllen. Die neuen Standards werden in den australischen/ neuseeländischen Normen AS/NCS 1359.5:2000



beschrieben und durch staatliche Gesetze verbindlich festgeschrieben.
Die MEPS-Richtlinien schreiben vor, dass Produkte vom Markt genommen werden müssen, die wegen ihrer geringen Energieeffizienz nicht mehr tragbar sind. In den MEPS-Richtlinien sind zudem Mindesteffizienzwerte für Hocheffizienzmotoren definiert.



CEMEP

In Europa wurde eine ähnliche Initiative gestartet, um den Energieverbrauch zu senken. Die Europäische Vereinbarung zur Klassifizierung des Wirkungsgrads von elektrischen Normmotoren trat 1999 in Kraft. Die Vereinbarung ist das Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen der Europäischen Kommission und der CEMEP (European committee of manufacturers of electric machines and electronics (Europäische Kommission der Hersteller von elektrischen Maschinen und Elektronik)). Das Ziel ist die Senkung des Energieverbrauchs in der Industrie durch den Einsatz von Motoren mit höherem Wirkungsgrad. Die Vereinbarung ist jedoch nicht bindend.

Heute sind die CEMEP- und EPAct-Anforderungen an die Motoreffizienz welweit anerkannte Standards für 50 Hz und 60 Hz Hocheffizienzmotoren. CEMEP gilt für 50 Hz Motoren und EPAct für 60 Hz Motoren.

Von CEMEP erfasste Motoren

- Vollständig geschlossene, lüftergekühlte, dreiphasige Käfigläufer-Induktionsmotoren (in der Regel in der Schutzart IP 54 oder IP 55)
- Motoren von 1,1 kW bis 90 kW
- 2- und 4-polige Motoren
- Nennspannung 400 V
- 50 Hz Motoren
- Für Dauerbetrieb S1
- Standardausführung
  (Ausführung N nach EN 600 34-12.)

Nicht von CEMEP erfasste Motoren

- Bestimmte Drehstrommotoren
- Explosiongeschützte Motoren
- Bremsmotoren
- Einphasenmotoren



CEMEP-Verpflichtung

Motorhersteller, die sich zur Einhaltung der in der CEMEP-Vereinbarung aufgeführten Anforderungen entschieden haben, sind folgende Verpflichtung eingegangen:

- Einteilung ihrer Motoren in eine der drei Effizienzklassen: EFF 1, EFF 2 oder EFF 3.
- Angabe des Motorwirkungsgrads in Prozent bei Volllast und 3/4-Last in den Katalogunterlagen.
- Angabe der Effizienzklasse auf dem Motortypenschild.
- Reduzieren der Anzahl der Motoren innerhalb der niedrigsten Effizienzklasse EFF3.
- Bereitstellen von statistischen Daten der jährlich getätigten Verkäufe von Motoren in den CEMEP-Staaten.

Ermittlung des Motorwirkungsgrads nach CEMEP

Der Motorwirkungsgrad wird auf Basis des Verfahrens zur Aufsummierung der Verluste nach EN 60034-2 einschließlich A1:1996 und A2:1996 sowie dem im Folgenden näher beschriebenen Anhang A ermittelt:

- Die Toleranzen müssen der EN 60034-1+A1:1997 entsprechen.
- Bei Motoren mit Thermoschutz, wo der Anstieg der Wicklungstemperatur im Normalbetrieb 10 K unterhalb des zulässigen Grenzwerts liegt, kann folgende Bezugstemperatur als Richtwert angenommen werden: Der tatsächliche Anstieg der Wicklungstemperatur beträgt 15 K.
- Für Motoren, die für den Betrieb in Spannungsnetzen von z.B. 380 bis 420 V bestimmt sind, ist die Einordnung entsprechend der in Europa geltenden Spannung von 400 V vorzunehmen.
- Um ein repräsentatives Prüfergebnis der Reibungs- und Wirbelverluste zu erhalten, sind die Prüfungen nach dem Stand der Technik und mit ausreichend geschmierten Lagern durchzuführen. Ist der Motor mit Dichtungsringen ausgerüstet, sind diese vor der Prüfung zu entfernen.
- Für die Prüfungen bei 3/4-Last und Volllast ist dieselbe Bezugstemperatur (Wicklungstemperatur) zu verwenden.

PS	kW	Wirkungsgrad [%]					
		CEMEP				EPAct	
		2-polig	4-polig	2-/4-polig		2-polig	4-polig
		EFF 1	EFF 1	EFF 2	EFF 3		
1	0,75					≥ 75,5	≥ 82,5
1,5	1,1	≥ 82,8	≥ 83,8	≥ 76,2	< 76,2	≥ 82,5	≥ 84,0
2	1,5	≥ 84,1	≥ 85,0	≥ 78,5	< 78,5	≥ 84,0	≥ 84,0
3	2,2	≥ 85,6	≥ 86,4	≥ 81,0	< 81,0	≥ 85,5	≥ 87,5
	3	≥ 86,7	≥ 87,4	≥ 82,6	< 82,6		
5	4	≥ 87,6	≥ 88,3	≥ 84,2	< 84,2	≥ 87,5	≥ 87,5
7,5	5,5	≥ 88,6	≥ 89,2	≥ 85,7	< 85,7	≥ 88,5	≥ 89,5
10	7,5	≥ 89,5	≥ 90,1	≥ 87,0	< 87,0	≥ 89,5	≥ 89,5
15	11	≥ 90,5	≥ 91,0	≥ 88,4	< 88,4	≥ 90,2	≥ 91,0
20	15	≥ 91,3	≥ 91,8	≥ 89,4	< 89,4	≥ 90,2	≥ 91,0
25	18,5	≥ 91,8	≥ 92,2	≥ 90,0	< 90,0	≥ 91,0	≥ 92,4
30	22	≥ 92,2	≥ 92,6	≥ 90,5	< 90,5	≥ 91,0	≥ 92,4
40	30	≥ 92,9	≥ 93,2	≥ 91,4	< 91,4	≥ 91,7	≥ 93,0
50	37	≥ 93,3	≥ 93,6	≥ 92,0	< 92,0	≥ 92,4	≥ 93,0
60	45	≥ 93,7	≥ 93,9	≥ 92,5	< 92,5	≥ 93,5	≥ 93,6
75	55	≥ 94,0	≥ 94,2	≥ 93,0	< 93,0	≥ 93,0	≥ 94,1
100	75	≥ 94,6	≥ 94,7	≥ 93,6	< 93,6	≥ 93,6	≥ 94,5
125	90	≥ 95,0	≥ 95,0	≥ 93,9	< 93,9	≥ 94,5	≥ 94,5
150	110					≥ 94,5	≥ 95,0
200	150					≥ 95,0	≥ 95,0



DIN 44082: Eigenschaften von Thermistoren

Der Widerstand des Thermistors steigt sofort an, sobald die Auslösetemperatur erreicht wird. Der Thermistor ist an einen Steuerkreis anzuschließen, der die Widerstandänderung in ein Steuersignal umwandeln kann, mit dem die Netzversorgung zum Motor unterbrochen werden kann.

Funktionsprinzip eines Thermistors

Die wichtigsten Werte zum Widerstands-/Temperaturverhalten von für den Motorschutz bestimmte Sensoren sind in der DIN 44081 und DIN 44082 definiert.

Die aus der DIN entnommene Kurve auf der rechten Seite zeigt den Widerstand eines Thermistorsensors in Abhängigkeit der Temperatur.

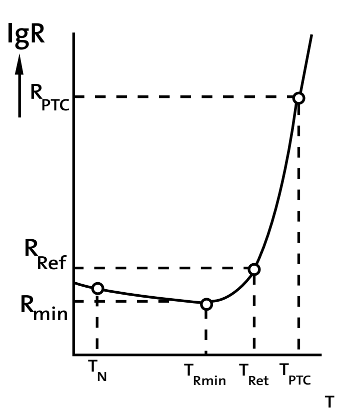
Der Thermistor bietet im Vergleich zum PTO-Thermoschalter folgende Vorteile:

- Schnelle Reaktion durch kleines Volumen und kleine Abmessungen
- Besserer Kontakt zur Wicklung
- Sensoren für jede Phase

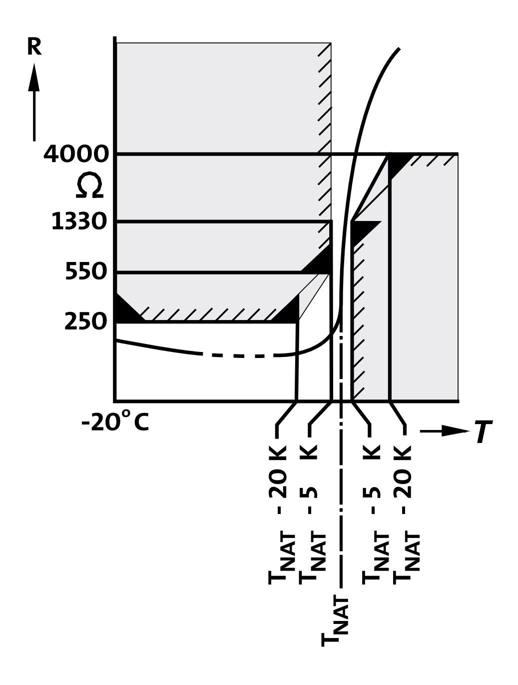
TP-Bezeichnung für einen Motor mit Kaltleiter

Der Motorschutz TP 211 kann nur erreicht werden, wenn der PTC-Sensor (Kaltleiter) vollständig mit dem Spulenende verbunden ist. Bei einer Nachrüstung kann nur der Schutzgrad TP 111 erzielt werden.

Der Motor muss vom Hersteller geprüft und abgenommen werden, um die Kennzeichnung TP 211 tragen zu dürfen. Verfügt ein Motor nur über den Schutzgrad TP 111, ist er an ein Überlastrelais anzuschließen, um gegen Blockieren geschützt sein.



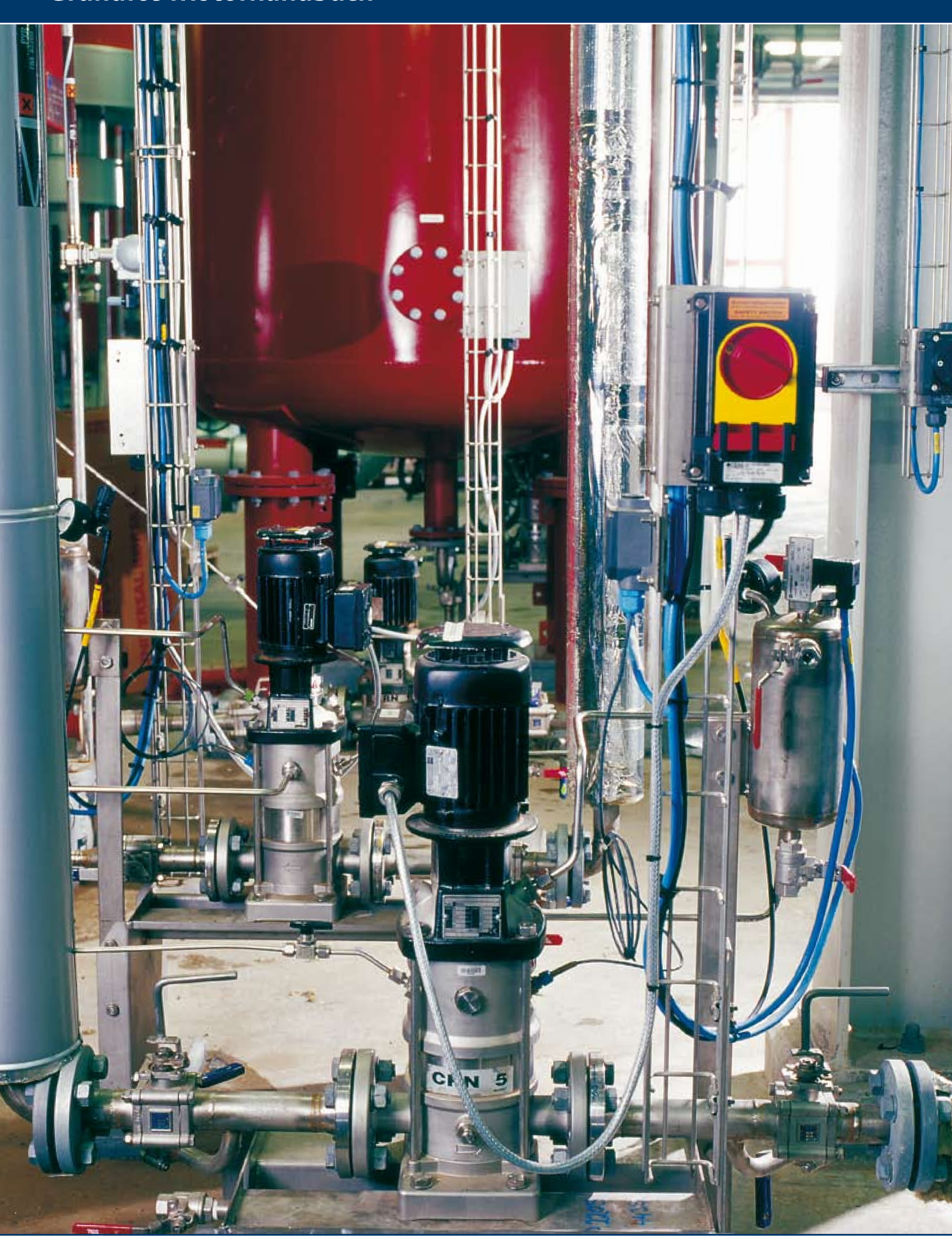
Widerstands-/Temperaturverhalten eines Kaltleiters nach DIN 44081/DIN 44082



Wichtige Grenzwerte für das Widerstands-/Temperaturverhalten von für den Motorschutz eingesetzte Sensoren.

T_{NAT} = Auslösetemperatur des Thermistors

Die Kurven gelten für eine Sensoreinheit.
Für den Motor-PTC müssen die Werte mit dem Faktor 3 multipliziert werden.



5. Explosionsgeschützte Motoren (ATEX-Motoren)

Was bedeutet ATEX?

Der Begriff ATEX steht für den Ausdruck „ATmosphère EXplosible“. Er nimmt Bezug auf die beiden EU-Richtlinien, die zur Bestimmung und zur Abwendung der Explosionsgefahr in unterschiedlichen Bereichen gelten. Eine der beiden ATEX-Richtlinien (94/9/EG) beschreibt die Anforderungen an Betriebsmittel, die für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen vorgesehen sind. Der Hersteller dieser Betriebsmittel muss die Anforderungen erfüllen und auf dem Typenschild angeben, zu welcher Gerätekategorie sein Produkt gehört. Die zweite ATEX-Richtlinie (99/92/EG) beschreibt die Mindestsicherheits- und -gesundheitsanforderungen, die der Betreiber der Betriebsmittel bei Ausführung von Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen erfüllen muss.

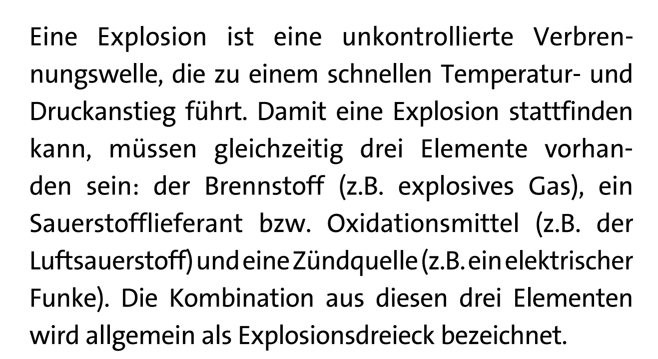
Was ist eine explosionsfähige Atmosphäre?

Eine explosionsfähige Atmosphäre, zu der gemäß der beiden oben aufgeführten Richtlinien nun auch Staub zählt, hat die Eigenschaft eine schlagartige Explosion durch eine unkontrollierte Verbrennung auszulösen. Eine explosionsfähige Atmosphäre besteht aus Luft und einem brennbaren Stoff, wie z.B. Gas, Dämpfe, Nebel oder Staub, in der sich die Explosion nach dem Entzünden ausbreiten kann. Typische Beispiele für Produktionsbereiche, in denen brennbare Stäube eine ernstzunehmende Rolle spielen, sind z.B. die Verarbeitung und Handhabung von Getreide, Tierfutter, Papier, Holz, Chemikalien, Kunststoffen und Kohle.

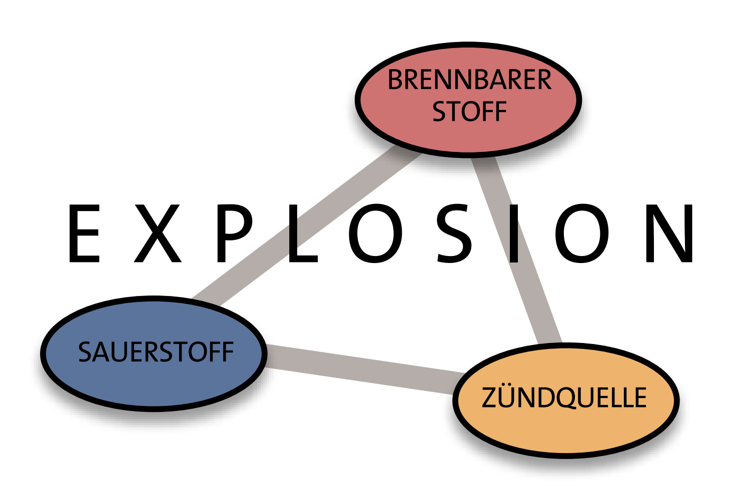
Beispiele für mögliche Zündquellen, die zum Auslösen der Explosion führen können:

- Elektrische Funken
- Flammen
- Heiße Oberflächen / überhitzte Stellen
- Statische Aufladung
- Elektromagnetische Strahlung
- Chemische Reaktionen
- Mechanische Kräfte
- Mechanische Reibung
- Zündung durch Verdichtungsprozesse
- Akustische Energie
- Ionenstrahlung

Was bedeutet ATEX?

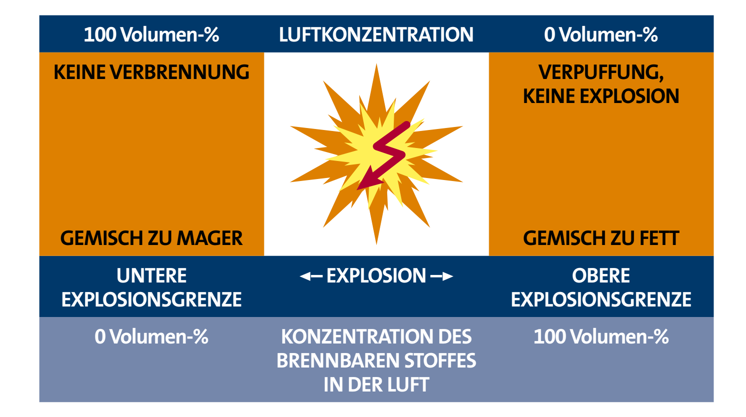


Eine Explosion ist eine unkontrollierte Verbrennungswelle, die zu einem schnellen Temperatur- und Druckanstieg führt. Damit eine Explosion stattfinden kann, müssen gleichzeitig drei Elemente vorhanden sein: der Brennstoff (z.B. explosives Gas), ein Sauerstofflieferant bzw. Oxidationsmittel (z.B. der Luftsauerstoff) und eine Zündquelle (z.B. ein elektrischer Funke). Die Kombination aus diesen drei Elementen wird allgemein als Explosionsdreieck bezeichnet.



Damit eine explosionsfähige Atmosphäre entstehen kann, muss das Gemisch aus Brennstoff und Oxidationsmittel eine bestimmte Konzentration aufweisen. Die Konzentration, die die Explosionsgrenzen bildet, ist abhängig von dem Umgebungsdruck und dem Sauerstoffgehalt in der Luft.

Außerhalb dieser Explosionsgrenzen zündet das Gemisch aus Brennstoff und Oxidattionsmittel nicht. Die Gefährdung bleibt jedoch bestehen, weil das Gemisch bei Änderung der Zusammensetzung weiterhin die Möglichkeit zum Entzünden hat. Damit sich eine explosionsfähige Atmosphäre bilden kann, muss zunächst eine bestimmte Konzentration eines brennbaren Stoffes vorliegen.



Was bedeutet ATEX?

Prinzipiell ist der Wirkmechanismus einer Explosion einfach zu beschreiben: Ist die Konzentration des brennbaren Stoffes zu gering (schwach angereichertes Gemisch) oder zu hoch (stark angereichertes Gemisch) findet keine Explosion statt. In diesen Fällen erfolgt nur eine langsame oder überhaupt keine Verbrennung. Nur innerhalb der unteren und oberen Explosionsgrenze reagiert das Gemisch aus Brennstoff und Oxidationsmittel bei Vorhandensein einer Zündquelle explosiv.

Stoff-bezeichnung	Untere Explo-sionsgrenze [Vol. %]	Obere Explo-sionsgrenze [Vol. %]
Acetylen	2,3	78,0 (selbstzersetzend)
Ethylen	2,3	32,4
Benzin	0,6	8
Benzol	1,2	8
Erdgas	4,0 - 7,0	13,0 - 17,0
Heizöl/Diesel	0,6	6,5
Methan	4,4	16,5
Propan	1,7	10,9
Schwefelkohlenstoff	0,6	80,0
Leuchtgas	4,0 - 6,0	30,0 - 40,0
Wasserstoff	4,0	77,0

Quelle: Explosionsgrenzen ausgewählter Gase und Dämpfe. Tabellenauszug aus dem Fachbuch „Sicherheitstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe“ von K. Nabert and G. Schön (6. Auflage)

Zündquelle

Um eine explosionsfähige Atmosphäre entzünden zu können, muss eine bestimmte Konzentration vorhanden sein. Die minimale Zündenergie ist als die Mindestenergiemenge definiert, die bei der Entladung eines Kondensators umgewandelt wird. Es ist die Energiemenge, die gerade ausreicht, um das zündfähigste Gemisch aus Brennstoff und Oxidationsmittel zu entzünden. Für Wasserstoff beträgt die Mindestzündenergie ca. 5 - 10 Joule und für bestimmte Arten von Stäuben sind es ebenfalls nur einige Joule.



Welche Art von Geräten wird von der ATEX-Richtlinie erfasst?

- Sicherheitsausrüstung und Sicherheitssysteme, die explosionsfähigen Gasen oder Stäuben ausgesetzt sind.
- Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen, die den sicheren Betrieb von Produktionsmitteln und Schutzsystemen gewährleisten.
- Elektrische, mechanische, hydraulische und pneumatische Geräte einschließlich Pumpen und Elektromotoren.

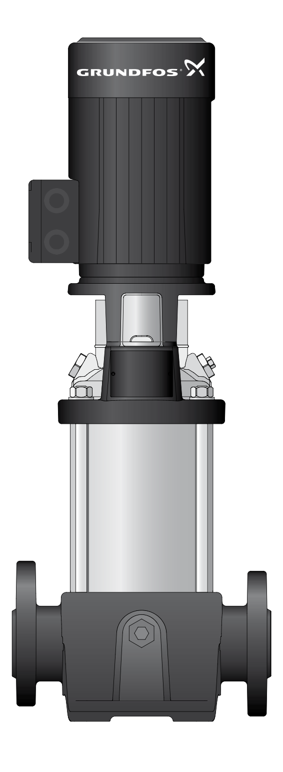
Stichtag: 1. Juli 2003

Unternehmen, die die zuvor genannten Geräte herstellen, einsetzen oder in Verkehr bringen, müssen die in der ATEX-Richtlinie aufgeführten, grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen erfüllen.
Die ATEX-Richtlinie 94/9/EG gilt jedoch nicht rückwirkend. Dennoch besteht die Verpflichtung, bereits vorhandene Produkte laufend zu überprüfen. Bei Schäden (Verschleiß, usw.) sind die alten Produkte durch Geräte zu ersetzen, die die ATEX-Richtlinie erfüllen. Darüberhinaus dürfen Produkte, die besonders für die Verwendung in Bereichen mit hoher Explosionsgefahr (Zone 0 oder 20) bestimmt sind, nur in Verkehr gebracht werden, wenn sie die ATEX-Richtlinie vollständig erfüllen. Grundfos Pumpen, die ursprünglich mit einem Ex-Motor ausgeliefert worden sind, dürfen nach einem Austausch nur weiter veräußert werden, wenn sie die ATEX-Richtlinie erfüllen.

Welche Verplichtungen ergeben sich für den Betreiber durch die ATEX-Richtlinie 99/92/EG?

Um eine Explosion zu vermeiden, muss der Betreiber des Betriebsmittels die nachfolgend aufgeführten Punkte unbedingt befolgen:

- die erforderlichen technischen und organisatorischen Vorsichtsmaßnahmen ergreifen.
- eine vollständige Risikobewertung der Explosionsgefahr durchführen.
- eine Zoneneinteilung der explosionsgefährdeten Bereiche vornehmen.
- die Gefahrenzonen deutlich kennzeichnen.



Einteilung der explosionsgefährdeten Bereiche in Zonen

Die ATEX-Richtlinie 99/92/EG unterscheidet zwischen zwei Arten von explosionsfähigen Atmosphären: Gas und Staub. Bereiche, die diesen beiden explosionsfähigen Atmosphären zugeordnet sind, sind wiederum in drei Zonen unterteilt. Die Zoneneigenschaften sind für Gas und Staub identisch, allerdings ist ihre Nummerierung unterschiedlich. Die Zonen 0, 1, 2 beziehen sich auf Gas und die Zonen 20, 21, 22 auf Staub.

Zone 0 / 20: Ständige Gefahr

Permanentes oder häufiges Vorhandensein von explosionsfähigen Gasen oder brennbaren Stäuben. In dieser Zone dürfen nur Geräte der Kategorie 1 eingesetzt werden.

Zone 1 / 21: Mögliche Gefahr

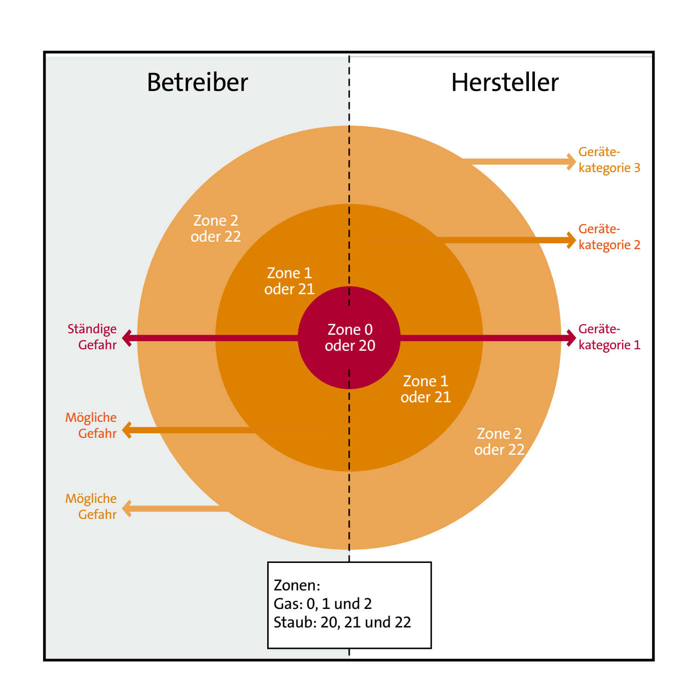
Gelegentliches Vorhandensein von explosionsfähigen Gasen oder brennbaren Stäuben bei Normalbetrieb. In dieser Zone dürfen nur Geräte der Kategorie 2 oder höher eingesetzt werden.

Zone 2 / 22: Geringe Gefahr

Kein oder nur kurzzeitiges Auftreten von explosionsfähigen Gasen oder brennbaren Stäuben. In dieser Zone dürfen nur Geräte der Kategorie 3 oder höher eingesetzt werden.

Grundfos produziert Pumpen mit Motoren, die in die beiden Gerätekategorien 2 und 3 eingestuft sind. Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt die Einteilung einer Umgebung in Zonen zusammen mit den unterschiedlichen Graden der Explosionsgefahr. In jede der drei Zonen dürfen nur Produkte – in unserem Fall Motoren – eingesetzt werden, die abhängig von der Explosionsgefahr in eine bestimmte Gerätekategorie eingestuft sind.

Der Betreiber ist für die Zoneneinteilung verantwortlich. Er muss in Übereinstimmung mit den in den ATEX-Richtlinien aufgeführten Vorschriften entscheiden, ob und in welchem Ausmaß ein Bereich als explosionsgefährlich einzustufen ist. Ist sich der Betreiber bei der Durchführung der Zoneneinteilung unsicher, muss er ein geeignetes Beratungsunternehmen oder die zuständigen Behörden mit der Einteilung beauftragen.

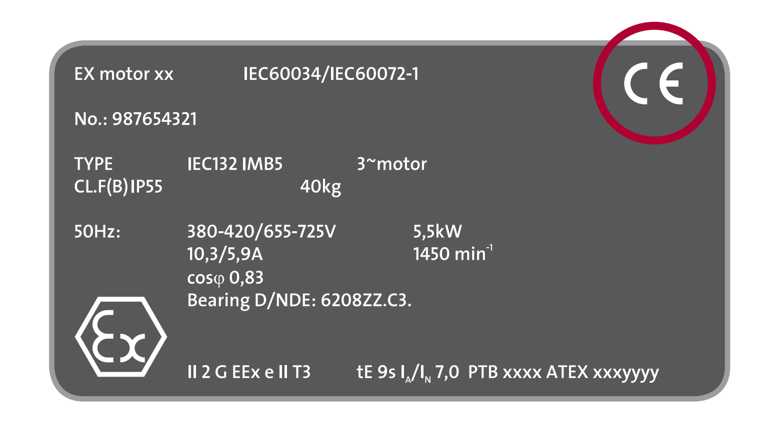


Bei der Zuordnung von Zonen und Gerätekategorien handelt es sich um Mindestanforderungen. Gibt es strengere nationale Vorschriften, sind diese anzuwenden.



Wie kann die Übereinstimmung mit den ATEX-Richtlinien sichergestellt werden?

Die Betriebsmittel und die Zoneneinteilung müssen den ATEX-Richtlinien entsprechen. Das CE-Kennzeichen ist der Nachweis, dass die Betriebsmittel entsprechend der in allen EU-Mitgliedsstaaten geltenden grundlegenden Vorschriften und Bewertungsverfahren hergestellt worden sind.



Wer ist für die Einhaltung der in der ATEX-Richtlinie definierten Anforderungen verantwortlich?

Der Hersteller der Betriebsmittel, der Betreiber und der Servicetechniker müssen - jeder für seinen Bereich - ganz bestimmte Sicherheitsvorschriften einhalten.

Der Hersteller

Als Hersteller ist Grundfos allein dafür verantwortlich, dass die von ihm produzierten Betriebsmittel die in der EU-Richtlinie angeführten Anforderungen erfüllen.

Der Betreiber

Der Betreiber der Betriebsmittel muss den Hersteller darüber informieren, welche Art von Betriebsmitteln er benötigt. Dazu gehört z.B.:

- Gerätekategorie, z.B. 2G
- Temperatur, z.B. 125 °C
- Art der Zündschutzart, z.B. EExe II T3

Zusätzlich darf der Betreiber der Betriebsmittel das Produkt nur in den Zonen betreiben, für die das Produkt vorgesehen ist. Bei der Einteilung der Zonen muss der Betreiber alle möglichen Gefahren berücksichtigen. Weiterhin muss der Betreiber durch regelmäßige Wartung sicherstellen, dass die Betriebsmittel in einem einwandfreien Zustand sind. Ab dem 1. Juli 2003 müssen Neuinstallationen die in der ATEX-Richtlinie aufgeführten Anforderungen erfüllen. Ist der Betreiber der Betriebsmittel auch gleichzeitig der Hersteller der Betriebsmittel, muss er die Vorschriften beider Richtlinien einhalten. Bereits bestehende Installationen müssen die in der ATEX-Richtlinie 99/92/EG aufgeführten Anforderungen spätestens bis zum 30. Juni 2006 erfüllen.

Wer ist für die Einhaltung der in der ATEX-Richtlinie definierten Anforderungen verantwortlich?



Der Servicemitarbeiter

Servicearbeiten an explosionsgeschützten Geräten werden nicht von der Richtlinie 94/9/EG erfasst. Dennoch müssen die Servicemitarbeiter sicherstellen, dass die für die Produkte und Betriebsmittel geltenden Sicherheitsanforderungen auch nach Durchführung der Servicearbeiten weiterhin erfüllt werden, damit keine Gefährdung von Ihnen ausgehen kann. Benannte Stellen, wie z.B. KEMA und PTB, sind berechtigt, Qualifizierungs-zertifikate für Servicemitarbeiter als Nachweis für ihre Qualifikation auszustellen. Aber auch die Service- und Qualitätsabteilung des Herstellers darf im gewissen Rahmen Qualifizierungszertifikate ausstellen.

Für Elektromotoren sind die in der ATEX-Richtlinie formulierten Anforderungen nicht neu. Zuvor wurden sie bereits in der Norm IEC 60079 und in verschiedenen nationalen Normen definiert. So enthält die ATEX-Richtlinie auch Verweise auf EN-Normen, die dieselben Anforderungen wie die IEC 60079 beschreiben. In anderen Teilen der Welt gilt für Elektromotoren weiterhin die Norm IEC 60079.

Auswählen des richtigen Motors für nicht leitfähige Stäube

Nachdem die Umgebung in verschiedene Zonen unterteilt worden ist, muss festgelegt werden, welche Pumpe oder welcher Motor in einem bestimmten Bereich installiert werden darf. Abhängig von der Zoneneinteilung sind dabei einige Regeln zu beachten:

Ist ein Bereich in die Zone 20 (Bereich mit ständiger Explosionsgefahr) eingestuft, ist der Einsatz von Pumpen oder Motoren ausgeschlossen. Ist ein Bereich in die Zone 21 (Bereich mit möglicher Explosionsgefahr) eingestuft, muss der Motor vor dem Einbau von einer benannten Stelle zugelassen worden sein. Der Motorenhersteller ist für die Zulassung seines Prototyps für die Verwendung in bestimmten Bereichen durch die benannte Stelle verantwortlich. Ist ein Bereich in die Zone 22 (Bereich mit geringer Explosionsgefahr) eingestuft, darf jeder Motor eingesetzt werden, der vom Hersteller staubexplosionssicher ausgeführt worden ist, sofern kein leitfähiger Staub vorhanden ist.

Bei der Festlegung, welcher Motor in einem explosionsgefährdeten Bereich eingesetzt wird, muss auch die Zündtemperatur des Staubs berücksichtigt werden, um eine Explosion zu vermeiden.

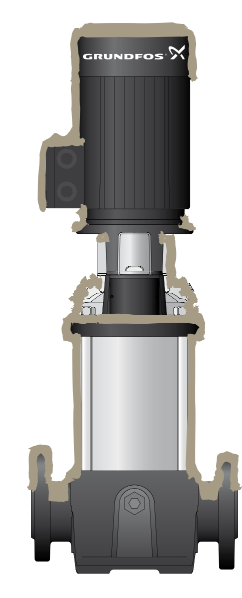
- Die Zündtemperatur einer Staubwolke muss mindestens um 1/3 höher als die Motornenntemperatur sein.
- Die Zündtemperatur einer 5 mm dicken Staubschicht muss mindestens um 75 °C höher als die Motornenntemperatur sein (siehe Tabelle auf dieser Seite).

Es liegt in der alleinigen Verantwortung des Betreibers, durch regelmäßige Wartung zu gewährleisten, dass die Dicke der Staubschicht 5 mm nicht übersteigt. Zündtemperaturen für verschiedene Arten von Stäuben sind in Zuordnungstabellen, wie auf der rechten Seite abgebildet, angegeben.

$X° = Y° + 75°C$

X °C = Zündtemperatur einer 5 mm dicken Staubschicht

Y °C = Oberflächentemperatur des Motors, z.B. 125 °C

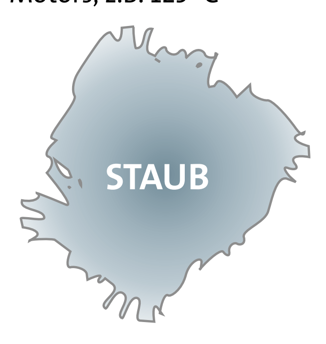


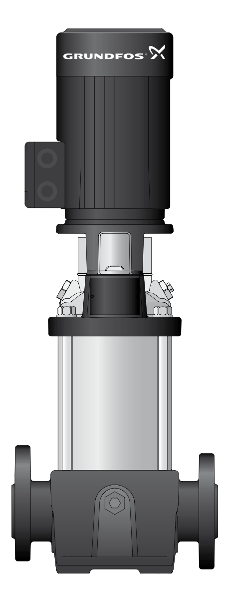
In Bereichen mit staubhaltiger Luft, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich Staub auf der Pumpe und dem Motor absetzt.

$Z° = Z° + Y°/3$

Z °C = Zündtemperatur einer Staubwolke

Y °C= Oberflächentemperatur des Motors, z.B. 125 °C





Zündtemperaturen		
Stoff	**Staubwolke**	**5 mm Staubschicht**
Weizen	420°C	200°C
Getreide	400°C	250°C
Zucker	350°C	420°C
Braunkohle	450°C	200°C
Schwefel	40°C	250°C

Quelle: BIA-Report 12/97
Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben



Unterschied zwischen Motoren der Kategorie 2 und 3 für den Einsatz in Bereichen mit entflammbarem Staub

Gerätekategorie 2

Um zu verhindern, dass statische Aufladung (Reibungselektrizität) zum Entzünden von explosionsfähigen Atmosphären führt, ist der Kühllüfter eines staubexplosionssicheren Motors der Gerätekategorie 2, der für den Einsatz in Zone 21 (Bereich mit möglicher Explosionsgefahr) zugelassen ist, aus Metall oder einem anderen antistatischen Werkstoff gefertigt. Um die Gefahr des Entzündens weiter zu minimieren, werden zudem an den externen Erdungskontakt strengere Anforderungen hinsichtlich der konstruktiven Ausführung gestellt. Die auf dem Motortypenschild angegebene Temperatur gilt für die ungünstigsten Betriebsverhältnisse, die für den Motor zulässig sind. Motoren für die Verwendung in Zone 21 (Bereiche mit möglicher Explosionsgefahr) müssen die Schutzart IP6X besitzen, d.h. sie sind vollständig gegen Eindringen von Staub zu schützen.

Gerätekategorie 3

Die auf dem Motortypenschild eines staubexplosionssicheren, für den Einsatz in Zone 22 (Bereiche mit geringer Explosionsgefahr) zugelassenen Motors der Gerätekategorie 3 angegebene Temperatur gilt für die ungünstigsten Betriebsverhältnisse, die für den Motor zulässig sind. Ein Motor für die Verwendung in Zone 22 muss die Schutzart IP5X besitzen, d.h. er ist gegen Eindringen von Staub zu schützen und muss mit einer externen Masseklemme ausgestattet sein.

	Zone 20	
Staub	Leitend	Nicht leitend
Schutzart	IP6X	IP6X
Produktkennzeichnung	II 1 D	II 1 D

Motoren dürfen nicht in Zone 20 betrieben werden.

	Zone 21	
Staub	Leitend	Nicht leitend
Schutzart	IP6X	IP6X
Produktkennzeichnung	II 2 D	II 2 D

	Zone 22	
Staub	Leitend	Nicht leitend
Schutzart	IP6X	IP5X
Produktkennzeichnung	II 2 D	II 3 D



Auswählen der richtigen Pumpe oder des richtigen Motors

Beispiel: Für eine Produktionsanlage zur Zuckerherstellung soll ein Motor ausgewählt werden. Bei der Herstellung fallen unvermeidlich Zuckerrückstände in Form von Staub an. Um eine sichere Arbeitsumgebung ohne Explosionsgefahr zu schaffen, sind einige Faktoren bei der Auswahl des Pumpenmotors zu beachten.

Zuckerstaub gehört zu den nicht leitfähigen Stäuben.

Die Selbstentflammungstemperatur von Zucker ist von seiner Konzentration abhängig:

- Bei als Schicht vorliegendem Zucker beträgt die Selbstentflammungstemperatur 420 °C.
- Bei als Wolke vorliegendem Zucker beträgt die Selbstentflammungstemperatur 350 °C.

Auswahl der Betriebsmittel

Die Schutzart des Motors (IP) gibt Aufschluss, in welcher Zone der Motor betrieben werden darf.

Motoren der Schutzart IP 6X = Zone 21
und
Motoren der Schutzart IP 5X = Zone 22.

Temperaturklassen

Bei der Ermittllung der zulässigen Temperaturklasse des Motors muss die Zündtemperatur für die unterschiedlichen Konzentrationen von Zuckerstaub berücksichtigt werden.

- Aufgeschichteter Zuckerstaub

Die Zündtemperatur einer 5 mm dicken Schicht aus Zuckerstaub beträgt 420 °C. Wie bereits zuvor erwähnt, muss die Nenntemperatur des Motors 75 °C unter der Zündtemperatur des Stoffes liegen. Die maximal zulässige Temperatur bevor eine Zuckerstaubschicht sich entzünden kann, lässt sich somit wie folgt berechnen:

420°C – 75°C = 345°C

Auswählen der richtigen Pumpe oder des richtigen Motors

Die maximale, vom Produkt erreichbare Temperatur ist auf dem Motortypenschild angegeben: II 2D T125°C (= maximal 125 °C).

In der Regel werden staubexplosionsgeschützte Normmotoren mit der Temperaturklasse T125°C für die maximal erreichbare Produkttemperatur gekennzeichnet. Und um auf das vorherige Beispiel zurückzukommen: 125 °C ist kleiner als 345 °C.

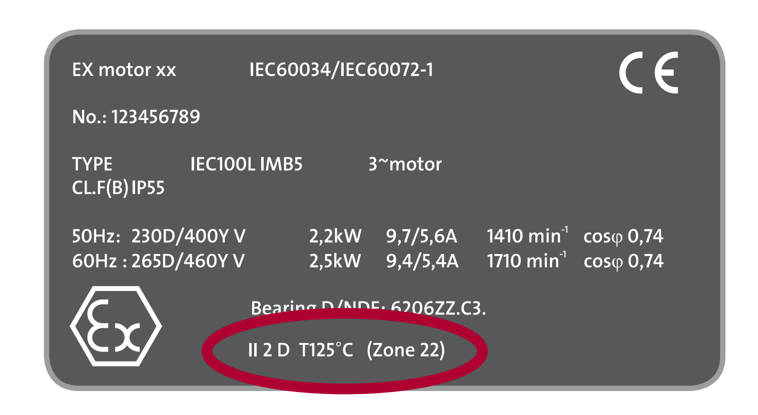
- Als Wolke vorliegender Zuckerstaub

Die Zündtemperatur von als Wolke vorliegendem Zuckerstaub beträgt 350 °C. Und wie bereits zuvor erwähnt, muss seine Zündtemperatur mindestens um 1/3 höher als die Nenntemperatur des Motors sein. Die maximal zulässige Temperatur bevor eine Zuckerstaubwolke sich entzünden kann, lässt sich somit wie folgt berechnen:
2/3 of 350°C = 233°C

Die maximale, vom Produkt erreichbare Temperatur ist auf dem Motortypenschild angegeben: II 2D T125°C (= maximal 125 °C).

In der Regel werden staubexplosionsgeschützte Normmotoren mit der Temperaturklasse T125 °C für die maximal erreichbare Produkttemperatur gekennzeichnet. Für das vorherige Beispiel bedeutet dies: 125 °C ist kleiner als 233 °C.

Liegt der Zuckerstaub gleichzeitig in Form einer Schicht und einer Wolke vor, muss die Temperaturangabe auf dem Betriebsmittel der maximalen Oberflächentemperatur von Pumpe und Motor entsprechen. Und wie bereits vorher erwähnt, geben die meisten Hersteller von staubexplosionsgeschützten Motoren standardmäßig 125 °C als maximal erreichbare Produkttemperatur auf dem Typenschild an.





Auswählen der richtigen Pumpe oder des richtigen Motors für explosionsgefährliche Gase

Nachdem die Umgebung in verschiedene Zonen unterteilt worden ist, muss festgelegt werden, welche Pumpe oder welcher Motor in einem bestimmten Bereich installiert werden darf. Beim Einsatz von Motoren in explosionsgefährdeten Bereichen sind bestimmte Faktoren zu berücksichtigen.

Einteilung der Gase

Gase werden je nach Industriezweig, in dem die Betriebsmittel eingesetzt werden, in die folgenden beiden Explosionsgruppen eingeteilt: Explosionsgruppe I und II.

- Explosionsgruppe I: Bergwerke und Untertagebau
- Explosionsgruppe II: Übertagebau und andere Industrien über Tage

Die Explosionsgruppe II ist wiederum in 3 Untergruppen unterteilt: II A, II B und II C. Die zusätzliche Gruppeneinteilung gilt für EExd-Motoren, die einer internen Explosion standhalten, die durch eine bestimmte Gasart hervorgerufen wird, für die der Motor ausgelegt ist.

Eine Eingruppierung in die Gasgruppe II C bedeutet, dass dieses Gas zu den explosionsgefährlichsten Gasen gehört. In der Tabelle auf der rechten Seite sind Beispiele von verschiedenen Gasarten und ihre Einteilung in die Explosionsgruppen aufgeführt.

Die Gefahr einer Gasexplosion nimmt von der Gasgruppe II A bis zur Gasgruppe II C zu. Je nachdem zu welcher Gruppe das Gas gehört, ergeben sich entsprechende Anforderungen an die Pumpen und Motoren. Je höher die Explosionsgefahr ist, desto strenger sind die Anforderungen an das Betriebsmittel. Deshalb muss jedes elektrische Betriebsmittel eine deutlich sichtbare Kennzeichnung tragen, für welche Exlplosionsgruppe es eingesetzt werden kann. Ein Elektromotor, der für die Explosionsgruppe II C zugelassen ist, darf auch für andere Explosionsgruppen verwendet werden, weil II C die gefährlichste Explosionsgruppe darstellt.

Typisches Gas	Gasgruppe
Acetylen	IIC
Wasserstoff	IIC
Ethylen	IIB
Propan	IIA
Methan	I (Grubengas) Bergbau II A Industriebereich

Die Tabelle gilt nur für EExd-Motoren.

Temperatureinteilung

Die Selbstentzündungstemperatur ist die Temperatur, bei der sich ein Gas plötzlich ohne weitere Zündquelle entzündet. Trifft eine explosionsfähige Atmosphäre auf heiße Oberflächen, kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Selbstentzündung. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Einteilung in Temperaturklassen. Die Temperaturklassen geben an, welche maximale Oberflächentemperatur ein Bauteil eines elektrischen Betriebsmittels bei Normalbetrieb erreichen kann. Bei der Angabe der maximalen Oberflächentemperatur wird in der Regel von einer Umgebungstemperatur von 40 °C ausgegangen. Die Temperaturklasseneinteilung der Betriebsmittel steht in Beziehung zur Selbstent-zündungstemperatur von Gasen. Mit Festlegung der Temperaturklasse fällt die Entscheidung über die Verwendung des Betriebsmittels in Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre.

In der nachfolgenden Tabelle ist der Zusammenhang zwischen der Temperatureinteilung und den verschiedenen Gasarten aufgeführt, die den Explosionsgruppen II A, II B oder II C zugeordnet sind.

Im Bezug auf die EExd-Motoren ist die Temperaturklasse ein Maß für die maximale Oberflächentemperatur des Motors.

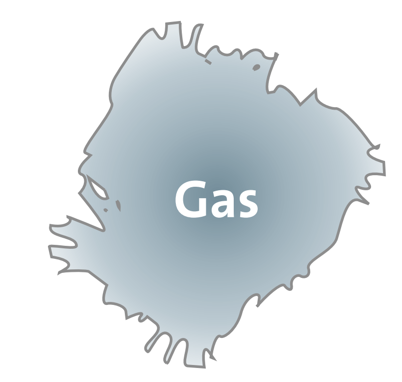
In Verbindung mit EExe- und EnA-Motoren wird mit der Temperaturklasse die Temperatur beschrieben, die von den inneren und äußeren Oberflächen eines Motors angenommen werden kann.

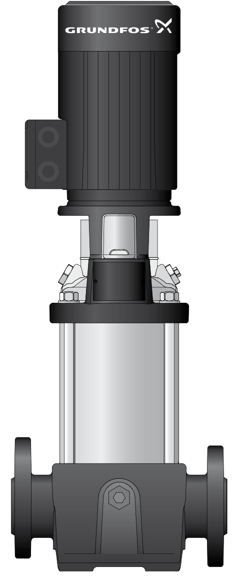
Bei Staub wird in der Regel als Oberflächentemperatur die genaue Temperatur angegeben, die ein Motor bei ungünstigen Bedingungen erreichen kann.

X °C ≥ T1, T2, T3...

X °C = **Zündtemperatur des Gases**

Y °C = **Motortemperatur T1, T2, T3...**





Pumpe und Motor für Bereiche mit explosionsfähigen Gasen

Temp.-Klasse	Maximale Oberflächen-temperatur °C	Einteilung der Gase und Dämpfe		
		II A	II B	II C
T1	450°C	Methan Ammoniak		Wasser-stoff
T2	300 °C	Butan	Ethylen	Acethylen
T3	200 °C	Kerosin Cyclohexan		
T4	135°C	Ethan	Diethyl-ether	
T5	100 °C			
T6	85°C			Schwefel-kohlenstoff

Temperaturklassen für Gase
Die Einteilung gilt nur für EEx d Motoren.



Normen und Verfahren zum Explosionsschutz: EExd, EExe und ExnA

Um zu verhindern, dass elektrische Betriebsmittel zur Zündquelle werden, werden unterschiedliche Verfahren angewendet. In der nachfolgenden Tabelle sind verschiedene Konzepte und Normen für elektrische Geräte bei Vorhandensein von Gasen, Dämpfen und Nebel aufgeführt.

Bei Elektromotoren werden die Zündschutzarten d (druckfeste Kapselung), e (erhöhte Sicherheit) und n (nichtfunkende Geräte) angewendet. Auf den nachfolgenden Seiten werden die drei Zündschutzarten ausführlich behandelt.

Zündschutzart	Code	Normen		Verwendung in ATEX-Kategorie/ Zone	Prinzip	Anwendung
		CENELEC EN	IEC 60079			
Allgemeine Anforderungen	-	50014	- 0	-	Grundlegende elektrische Anforderungen	Alle Betriebsmittel
Ölkapselung	o	50015	- 6	Gerätekategorie 2 Zone 1	Die elektrischen Komponenten sind vollständig von Öl umgeben, so dass eine explosionsfähige Atmosphäre sich nicht entzünden kann.	Transformatoren
Überdruckkapselung	p	50016	- 2	Gerätekategorie 2 Zone 1	Die Schutzgehäuse von Betriebsmitteln werden gespült, um explosionsfähige Atmosphären aus dem Gehäuse zu entfernen und anschließend mit Druck beaufschlagt, um ein Eindringen von umgebender Atmosphäre zu verhindern.	Schaltschränke, große Motoren
Sandkapselung	q	50017	- 5	Gerätekategorie 2 Zone 1	Die elektrischen Betriebsmittel werden von Sand (z.B. Quarz) umgeben, um den Kontakt mit einer explosionsfähigen Atmosphäre zu vermeiden.	Elektronische Komponenten, wie z.B. Kondensatoren, Sicherungen
Druckfeste Kapselung	d	50018	- 1	Gerätekategorie 2 Zone 1	Die Schutzgehäuse von elektrischen Betriebsmitteln sind druckfest ausgeführt und halten dem Druck bei einer inneren Explosion stand, so dass die umgebende Atmosphäre nicht entzündet wird.	Wechselstrommotoren, Steuergeräte, Leuchtmittel
Erhöhte Sicherheit	e	50019	- 7	Gerätekategorie 2 Zone 1	Zusätzliche Verfahren werden verwendet, um das Enststehen von Lichtbögen, Funken und heißen Oberflächen zu verhindern, die eine entflammbare Atmosphäre entzünden könnten.	Wechselstrommotoren, Klemmen- und Anschlusskästen, Leuchtmittel, Käfigläufermotoren
Eigensicherheit	i_a	50020	- 11	Gerätekategorie 1 Zone 0	Die elektrische Energie in Betriebsmitteln wird begrenzt, so dass Stromkreise eine Atmosphäre nicht durch Funken oder Erwärmung entzünden können.	Mess- und Regeltechnik, wie z.B. Sensoren, Messgeräte
	i_b	50020	- 11	Gerätekategorie 2 Zone 1		
Vergusskapselung	m	50028	- 18	Gerätekategorie 2 Zone 1	Die elektrischen Komponenten werden in dafür zugelassene Stoffe eingegossen, um einen Kontakt mit explosionsfähiger Atmosphäre zu verhindern.	Geräte der Mess- und Regeltechnik, Magnetventile
Zündschutzart "n"	nA	50021	- 15	Gerätekategorie 3 Zone 2	Unterdrückung der Lichtbogen- und Funkenbildung	Wechselstrommotoren, Klemmenkästen, Leuchtmittel
Hinweis: Staubatmosphären (Gruppe II) werden durch die CENELEC-Normen EN 50281-1-1 und EN 50281-1-2 abgedeckt.						

Normen und Verfahren zum Explosionsschutz: EExd, EExe und ExnA



Gekapselte Motoren – Zünschutzart EExd

Dieser Abschnitt behandelt den konstruktiven Aufbau und die Eigenschaften von gekapselten Motoren. Zudem wird über die Art der Anwendungen informiert, in denen gekapselte Motoren eingesetzt werden.

Konstruktiver Aufbau von gekapselten Motoren

Gekapselte EExd-Motoren sind in die Gerätekategorie 2G eingestuft und für die Verwendung in Zone 1 bestimmt. Das Statorgehäuse und die Flansche umschließen die Bauteile eines gekapselten Motors, die eine explosionsgefährdete Atmosphäre entzünden könnten. Aufgrund dieser Kapselung kann der Motor dem Druck standhalten, der bei einer Explosion eines sich im Innern des Motors befindlichen explosionsgefährlichen Gemisches entsteht. Eine Ausweitung der Explosion auf die die Kapselung umgebende Atmosphäre wird vermieden, weil die heißen Explosionsgase durch die besondere Gestaltung technisch erforderlicher Spalte heruntergekühlt werden. Die Abmessungen dieser flammenhemmden Spalte - die Grenzspaltweite - sind in der EN 50018 definiert.

Zu beachten ist, dass die Temperaturklassen nur für die äußeren Oberflächen gelten.

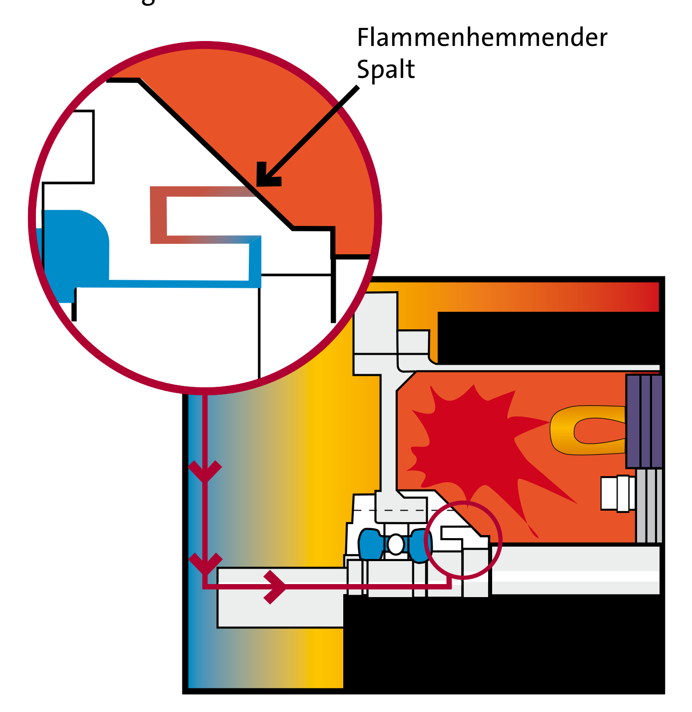
Eigenschaften von gekapselten Motoren

Die nachfolgend aufgeführten Eigenschaften kennzeichnen einen gekapselten, flammengschützen Motor.

- Einhalten einer bestimmten Grenzspaltweite
- Verstärktes Gehäuse, verstärkter Klemmenkasten und verstärkte Lageraufnahmen
- Größere Kontaktflächen zwischen den Motorkomponenten
- Engere Spalte zwischen Motorwelle und Lagerabdeckung, um die Übertragung von Funken an die Außenumgebung zu verhindern.
- Druckprüfungen aller Komponenten (Gehäuse, Lageraufnahmen, Klemmenkästen und Klemmenkasten-abdeckungen)
- Pflichtzertifizierung durch eine benannte Stelle, wie z.B. DEMKO, PTB, KEMA oder BASEEFA
- Kabeleinführungen mit Ex-Zulassung



Die Explosion tritt im Innern des Motors auf. Die Explosionsgase werden über die flammenhemmenden Spalte nach außen geführt.
Die Temperaturklassen für die flammengeschützten EExd-Motoren gelten nur für die äußeren Oberflächen.





Typische Anwendungen für gekapselte Motoren

Am häufigsten werden gekapselte Motoren in Verbindung mit Pumpen, Lüftern, Gebläsen, Brechern, Förderanlagen, Mühlen, Kränen und in anderen Anwendungen eingesetzt, bei denen die anzutreibenden Geräte in Bereichen aufgestellt sind, die die Verwendung eines gekapselten Motors erfordern.

Bei einigen Anwendungen kann der Motor zwei Zündschutzarten besitzen: Die Zündschutzart “d” für das Statorgehäuse und die Zündschutzart “e” für den Klemmenkasten.

In diesem Fall ist der Motor mit “de” gekennzeichnet. Der einzige Unterschied zwischen einem EExde und einem EExd gekennzeichneten Motor besteht somit in der Gestaltung der Klemmen und des Klemmenkastens. Bei einem Klemmenkasten, der mit Klemmenleisten mit erhöhter Sicherheit ausgerüstet ist, wird jede Art von Zündquelle, wie z.B. Funken, und übermäßige Erwärmung unterbunden.

Die Haupteigenschaften von EExde-Motoren sind:

- Komponenten des Klemmenkastens sowie Verbindungen und Kabel sind sicher zu befestigen (um ein Anschlagen an andere Bauteile zu verhindern).
- Verwenden von speziellen Klemmenleisten zur Vermeidung von Lichtbögen und Funken. (Klemmenleisten mit erhöhter Sicherheit)
- Eine doppelte Erdung ist zu vermeiden (zum einen am Statorgehäuse und zum anderen am Klemmenkastendeckel).

Motoren mit erhöhter Sicherheit - Zündschutzart EExe

In diesem Abschnitt werden der konstruktive Aufbau und die Eigenschaften von Motoren mit erhöhter Sicherheit beschrieben. Weiterhin wird über die Art der Anwendungen informiert, in denen Motoren mit erhöhter Sicherheit eingesetzt werden.



Konstruktiver Aufbau von Motoren mit erhöhter Sicherheit

Anders als die zuvor beschriebenen Motoren sind Motoren mit erhöhter Sicherheit (Zündschutzart e) nicht flammengeschützt ausgeführt und nicht so ausgelegt, dass sie einer Explosion im Innern standhalten. Der Aufbau eines solchen Motors zielt vielmehr auf eine Erhöhung der Sicherheit gegenüber dem Entstehen von übermäßig hohen Temperaturen sowie von Funken und Lichtbögen im Normalbetrieb und bei Auftreten von vorhersehbaren Störungen. Die Temperaturklasseneinteilung gilt für die äußeren und inneren Oberflächen. Deshalb muss auch die Temperatur der Statorwicklungen überwacht werden.

Eigenschaften von Motoren mit erhöhter Sicherheit

Die nachfolgend aufgeführten Eigenschaften kennzeichnen einen Motor mit erhöhter Sicherheit:

- Reduzierung der Wellenleistung im Vergleich zur Baugröße.
- Einhalten spezieller Maße für den Luftspaltrundlauf und die Luftspalttoleranz bei allen rotierenden Bauteilen.
- Komponenten werden Aufprallprüfungen unterzogen.
- Der Temperaturanstieg muss um 10 K geringer sein als der für die Wärmeklasse maximal zulässige Temperaturanstieg, z.B.: ΔT = 70 °C für den Temperaturanstieg in der Wärmeklasse B.
- Einsatz von PTC-Thermistoren von 110 °C (normal = 155 °C) (PTC-Thermistor = Thermistor mit positivem Temperaturkoeffizienten).
- Maximale Oberflächentemperatur = T1, T2 oder T3.
- Übereinstimmung mit der tE-Kurve (= die Zeit, die die Statorwicklungen bei maximal zulässiger Umgebungstemperatur zum Aufheizen benötigen, wenn der Statorstrom oder der Anlaufstrom anliegt)
- Spezielle Klemmenleiste mit vorgegebenem Kriechstrom und Spalt, ohne verdrillten Abschluss.
- Klemmenkasten mit der Schutzart IP 55.
- Eine externe Erdung am Gehäuse ist vorgeschrieben.
- Die Masse am Gehäuse muss mit der Masse am Klemmenkasten verbunden werden.
- Bei vertikaler Aufstellung ist ein Tropfschutz vorzusehen.
- Zertifizierung durch eine benannte Stelle, wie z.B. DEMKO, PTB, KEMA oder BASEEFA, ist Pflicht.



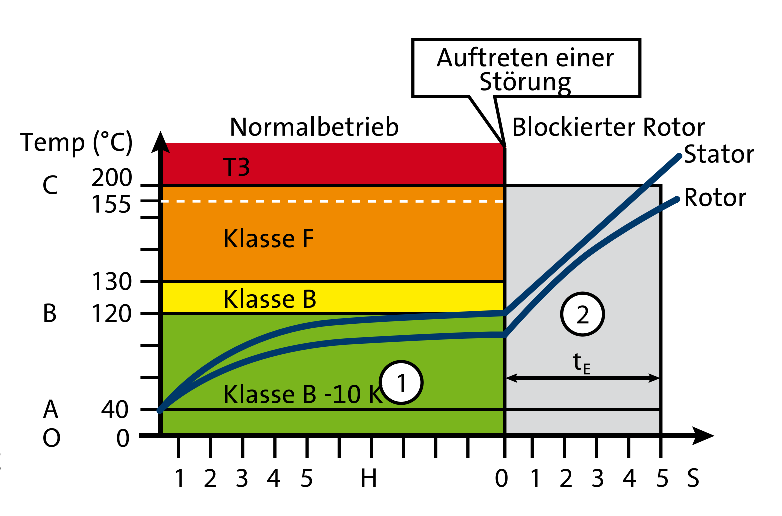
Bei EExe-Motoren mit erhöhter Sicherheit dürfen keine Funken auftreten. Die Temperaturklasse gilt für die inneren und äußeren Oberflächen.

Zeit t_E

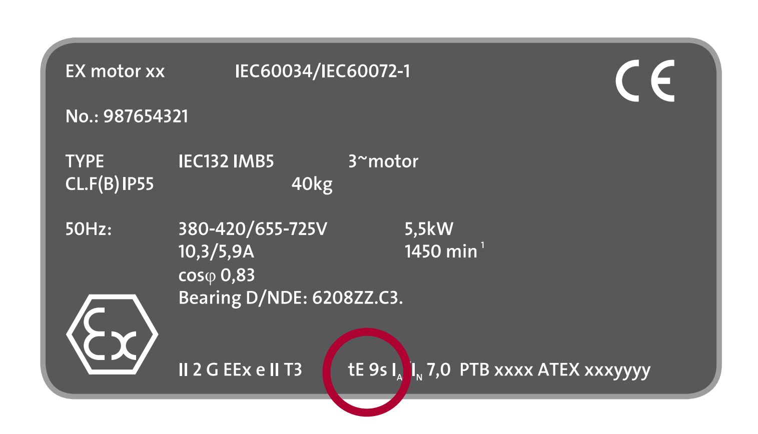
Die Zeit t_E ist die Zeit, die die Motorwicklung nach Anlegen des Startstroms bzw. Anlaufstroms benötigt, um den zulässigen Temperaturgrenzwert zu erreichen. Die Berechnung der Zeit t_E erfolgt mit Hilfe der im Normalbetrieb erreichbaren Temperatur bei maximal zulässiger Umgebungstemperatur.

Blockiert der Motor, wird er durch Schutzeinrichtungen abgeschaltet, bevor die Zeit t_E erreicht wird.
Der Hersteller ist verpflichtet, die Zeit t_E auf dem Motortypenschild und im Datenheft anzugeben.
Der Temperaturabstand OA in der rechten Abbildung kennzeichnet die maximale Umgebungstemperatur. OB hingegen entspricht der maximalen Temperatur, die die Statorwicklungen im Normalbetrieb erreichen. Blockiert z.B. der Rotor und steigt damit die Temperatur, schaltet die Schutzvorrichtung den Motor ab. Dieser Fall ist im Diagramm als Bereich 2 dargestellt.

Im Bereich 2 steigt die Motortemperatur schnell an. Sie ist jedoch geringer als die entsprechend der Tempraturklasse zulässige Oberflächentemperatur. Um eine Explosion zu vermeiden, muss der Motor jedoch abgeschaltet werden, bevor er seine maximale Oberflächentemperatur erreicht. Der Wert t_E eines EExe-Motors wird vom Hersteller entweder im Datenheft oder auf dem Motortypenschild angegeben.



tE ist die Zeit bis die Motorwicklung ihre maximale Temperatur erreicht. Die Zeit tE entspricht damit der sicheren Blockier- oder Anlaufzeit von Normmotoren.



Typische Anwendungen für EExe-Motoren mit erhöhter Sicherheit

In Bereichen, in denen eine bestimmte Menge an explosionsfähiger Atmosphäre vorhanden ist, kann eine Explosion auch eintreten, wenn das Betriebsmittel im Normalbetrieb läuft. Die Bereiche sind als Zone 1 und 2 und das Betriebsmittel mit der Explosionsgruppe II gekennzeichnet. Die gebräuchlichsten Gase, die in diesen Bereichen eine Explosion hervorrufen können, sind: Ammoniak, Butan, Methan, Ether und Wasserstoff.

Nichtfunkende Motoren - Zündschutzart ExnA

Dieser Abschnitt behandelt den konstruktiven Aufbau und die Eigenschaften von nichtfunkenden Motoren. Zudem wird darüber informiert, in welchen Anwendungen nichtfunkende Motoren eingesetzt werden.

Konstruktiver Aufbau von nichtfunkenden Motoren

Nichtfunkende Motoren der Zündschutzart nA können unter normalen Betriebsbedingungen keine explosionsfähige Atmosphäre entzünden. Wie bereits die Bezeichnung „nichtfunkend" besagt, ist der Motor nicht in der Lage, eine Atmosphäre zu entzünden. Nichtfunkende ExnA-Motoren gehören zur Gerätekategorie 3G und sind für die Verwendung in Zone 2 geeignet. Der Aufbau von ExnA-Motoren ähnelt mehr oder weniger dem Aufbau eines Normmotors der Schutzart IP 55.

Eigenschaften von nichtfunkenden Motoren

Die nachfolgend aufgeführten Eigenschaften kennzeichnen einen nichtfunkenden Motor.

- Einhalten spezieller Maße für den Luftspaltrundlauf und die Luftspalttoleranz bei allen rotierenden Bauteilen.
- Komponenten werden Aufprallprüfungen unterzogen.
- Temperaturklasseneinteilung für die zulässigen inneren oder äußeren Oberflächentemperaturen = T3, T2, T1.
- Mindestens Schutzart IP 54.
- Die Hersteller dürfen ohne Einschalten einer benannten Stelle ihre Motoren mit der Zündschutzart ExnA kennzeichnen.

Die oben aufgeführten Eigenschaften entsprechen prinzipiell den Eigenschaften eines Motors mit erhöhter Sicherheit mit der Ausnahme, dass die Nennleistung des Motors nicht herabgesetzt und die Zeit t_E nicht überwacht wird. Da diese Motoren in Bereichen der Zone 2 eingesetzt werden dürfen, ist die Erwärmung der Innen- und Außenflächen außer während des Anlaufens auf die Temperaturklasse T3, T2, T1 begrenzt.

Typische Anwendungen für nichtfunkende Motoren

Nichtfunkende Motoren sind für die Verwendung in Zone 2 bestimmt. Diese Motoren werden somit dort eingesetzt, wo eine explosionsfähige Atmosphäre unter normalen Betriebsbedingungen mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auftritt. Die gebräuchlichsten Gase, die in diesem Bereich eine Explosion hervorrufen können, sind: Ammoniak, Butan, Methan, Ether und Wasserstoff.



Bei Verwendung von nichtfunkenden Motoren ist ein Entzünden der Atmosphäre unwahrscheinlich.

Zusammengesetzte Betriebsmittel

Zusammengesetzte Betriebsmittel bestehen aus mehreren Bauteilen, Komponenten oder Schutzvorrichtungen, die eine bestimmte Funktion bereit stellen. In Verbindung mit explosionsfähigen Atmosphären werden zusammengesetzte Betriebsmittel häufig eingesetzt. Nur wenn die folgenden drei Bedingungen vorliegen, wird die Ausrüstung als zusammengesetztes Betriebsmittel angesehen:

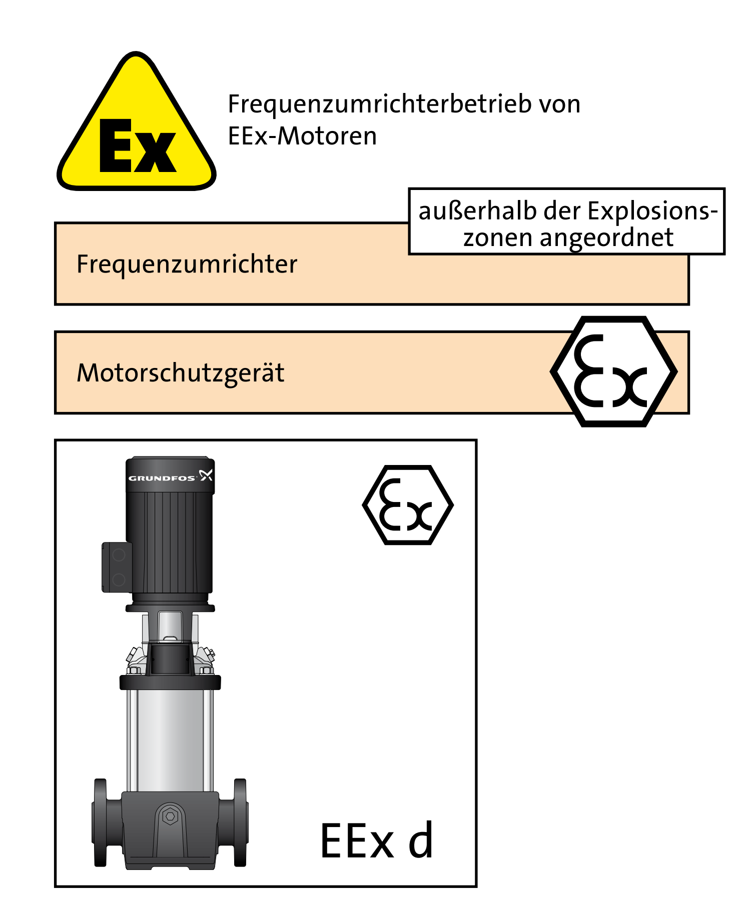
- Zusammenstellung von Ausrüstungsteilen, Komponenten und Schutzvorrichtungen mit dem Zweck eine bestimmte Funktion bereitzustellen.
- Die Ausrüstungsgegenstände können nicht einzeln ausgetauscht werden.
- Zusammengesetzte Betriebsmittel werden im Markt als eine Einheit angeboten.

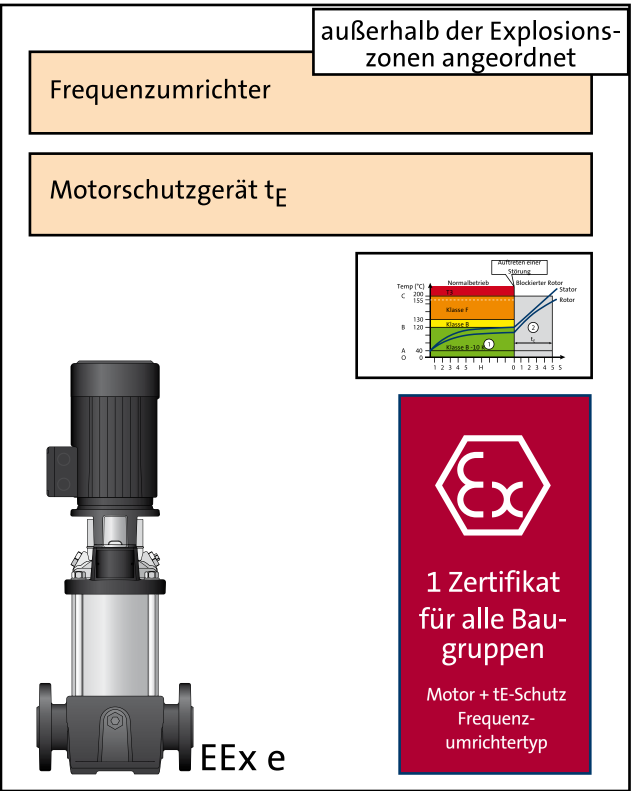
Nach dieser Definition werden somit auch über einen externen Frequenzumrichter angtriebene Motoren mit Motorschutzeinrichtungen und weiteren Regel- und Überwachungsgeräten als zusammengesetzte Betriebsmittel betrachtet.

Motoren, die in explosionsgefährdeter Umgebung über einen Frequenzumrichter betrieben werden, unterliegen, je nachdem in welchem Land sie aufgestellt sind, verschiedenen örtlichen Bestimmungen. Der Frequenzumrichterbetrieb muss ausdrücklich zugelassen sein und den Anweisungen in der Betriebsanleitung des Herstellers ist unbedingt Folge zu leisten.

Der Motor und die Schutzvorrichtung, die mit dem Code der Zündschutzart „EEx e“ gekennzeichnet sind, werden als eine Einheit betrachtet. Die zulässigen Betriebsdaten werden in dem gemeinsamen Prüfzertifikat festgelegt, das z.B. von der benannten Stelle PTB ausgestellt wird. Frequenzumrichter werden außerhalb der Explosionszonen angeordnet und tragen deshalb nicht die Kennzeichnung EEx e. Dennoch müssen der Typ des Frequenzumrichters und bestimmte Daten auf dem Motorzertifikat angegeben werden. Bei der Auswahl eines Frequenzumrichters für einen EExe-Motor sind die Anweisungen des Motorherstellers zu beachten. Hierzu gehört auch, welcher Frequenzumrichtertyp von welchem Hersteller verwendet werden darf.

Die Höhe der vom Frequenzumrichter erzeugten Spannungsspitzen können negative Auswirkungen auf den Motor haben und zu einer zusätzlichen Temperaturerhöhung führen.





Der Maximalwert der Spannungsspitzen in einem Frequenzumrichter, dem Kabel und dem Elektromotor darf niemals den vom Hersteller vorgeschriebenen Wert überschreiten.

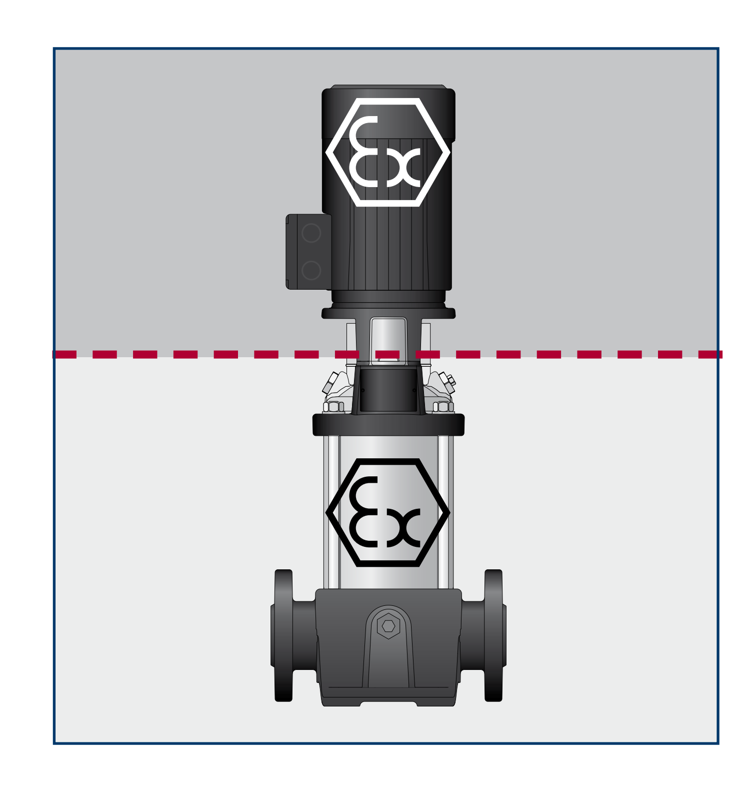
Schließt die Zertifizierung eines EExd-Motors einen Thermoschutz in den Wicklungen mit ein, können alle Frequenzumrichter ohne weitere Zulassung verwendet werden.

Kombinationen und ihre Eigenschaften

Kombinationen sind Zusammenstellungen von Geräten und Betriebsmitteln, die in der Regel aus mehreren Ausrüstungsgegenständen oder zusammengesetzten Betriebsmitteln bestehen, die über Rohre oder elektrische Leitungen miteinander verbunden sind. Die nachfolgend aufgeführten Eigenschaften kennzeichnen Kombinationen aus Betriebsmitteln:

- Einzelteile von Geräten, die im Allgemeinen austauschbar sind und einer eigenen Konformitätsbewertung unterliegen.

Ein Beispiel für Kombinationen sind Industriepumpen, die von einem Elektromotor angetrieben werden. Der Motor und die Pumpe können im Rahmen des Konformitätsbewertungsverfahrens getrennt betrachtet werden. Sie sind durch Standardbauteile miteinander verbunden und werden häufig von verschiedenen Herstellern gefertigt.
So können alle Grundfos Pumpen mit einem Ex-zugelassenen Motor beliebigen Typs ausgerüstet werden, solange die von Grundfos aufgestellten besonderen Zusammenbauvorschriften beachtet werden.



Der Motor und die Pumpe werden, wie bei zusammengesetzten Geräten üblich, getrennt zugelassen.

Somit werden Motor und Pumpe als aus Baugruppen zusammengesetzte Einzelgeräte mit eigenen Zertifikaten angesehen.

Installation und elektrischer Anschluss

Bei der Installation und dem elektrischen Anschluss sind nationale Vorschriften zu beachten. Die Kabeleinführungen müssen für explosionsgeschützte Bereiche zugelassen und gegen selbsttätiges Lösen gesichert sein. Die Installation ist entsprechend der nationalen Ausgabe der Norm EN 60079-14 (Elektrische Anlagen für gefährdete Bereiche) durchzuführen.

Instandsetzung und Wartung

Damit der Elektromotor immer über einen maximalen Explosionsschutz verfügt und eine hohe Leistung liefert, sind regelmäßige Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten durchzuführen. Diese Arbeiten dürfen in den meisten Fällen jedoch nur durch zertifiziertes Personal ausgeführt werden. Die Vorschriften bezüglich der Wartung und Instandsetzung variieren von Land zu Land und sind somit abhängig davon, in welchem Land der Motor betrieben wird. Deshalb sind die besonderen Vorschriften für explosionsgeschützte Motoren in dem jeweiligen Land unbedingt zu beachten.

Im Folgenden sind einige allgemeine Grundregeln aufgeführt, die bei der Durchführung von Instandsetzungs- und Wartungsarbeiten an explosionsgeschützten Motoren befolgt werden sollten. Dennoch muss hier noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass für die Instandsetzung und Wartung von explosionsgeschützten Motoren lokale Vorschriften gelten, die dem Servicemitarbeiter vor Beginn der Arbeiten unbedingt bekannt sein müssen, um die entsprechenden Vorsichtsmaßnahmen ergreifen zu können.



- Die Reparatur von explosionsgeschützten Motoren darf nur durch den Hersteller selbst erfolgen. Der Hersteller hat jedoch die Möglichkeit, die Reparaturarbeiten auch über Ländergrenzen hinweg von einem autorisierten Unternehmen ausführen zu lassen.
- Die Reparatur ist zu überwachen.
- Der reparierte Motor ist anschließend zu prüfen.
- Motorbauteile dürfen nur ausgetauscht werden, wenn davon die Art des Explosionsschutzes oder die Maximaltemperatur des Motors nicht beeinträchtigt werden. Werden Motorbauteile ausgetauscht, ist der Motor vor der Wiederinbetriebnahme zu prüfen.
- Kann der Motor zu Reparaturzwecken abgebaut werden, darf jedes qualifizierte Unternehmen die Instandsetzungsarbeiten durchführen, solange der Explosionsschutz des Motors nicht beeinträchtigt wird.
- Wurde der Motor einer Reparatur unterzogen, die Auswirkungen auf die Zündschutzart des Motors hat, muss der Motor eine neue Geräteprüfung durchlaufen.

Nach Auflistung einiger allgemeingültiger Richtlinien in Verbindung mit der Reparatur von explosionsgeschützten Motoren folgen jetzt einige Beispiele zu Reparaturarbeiten an Bauteilen, die **keine** Auswirkung auf die Zündschutzart des Motors haben und somit von jedem qualifiziertem Unternehmen durchgeführt werden dürfen.

Instandsetzung und Wartung

- Ersetzen von beschädigten Kabeleinführungen
- Austauschen von äußeren Befestigungselementen, wie z.B. Bolzen und Schrauben
- Austauschen des Thermorelais
- Austauschen von Lagern und Kühllüftern
- Schweißen eines gebrochenen Motorfußes (wenn er nicht Teil des Gehäuses ist)
- Austauschen von beschädigten Dichtungen

Nach Auflistung der Reparaturarbeiten, die keine Auswirkungen auf die Zündschutzart des Motors haben, sollen im Folgenden die Reparaturarbeiten aufgeführt werden, die **Auswirkungen** auf die Zündschutzart des Motors haben und deshalb nur durch autorisiertes Personal durchgeführt werden dürfen.

- Bohren von Löchern in das Gehäuse, die Flansche, das Statorgehäuse, usw. von EExd-Motoren.
- Bearbeiten, Schleifen, Lackieren, usw. von flammenhemmenden Spalten von EExd-Motoren.
- Ersetzen von Komponenten in EExd-Motoren durch nicht originale Bauteile, wie z.B. selbst angefertigte Flansche.
- Einbau zusätzlicher Klemmen in den EExe-Klemmenkasten, wenn die Klemmen nicht im Zertifikat aufgeführt sind. Gilt nur für EExd-Motoren.
- Neuwickeln von EExe-Motoren.
- Austausch von werkseitig montierten Verbindungen zwischen dem EExd-Statorgehäuse und dem EExe-Klemmenkasten bei EExde-Motoren.

Nach Durchführung einer Reparatur, die Auswirkung auf den Explosionsschutz des Motors haben kann, muss diese von einem Fachmann abgenommen werden. Verweigert der Fachmann die Abnahme der Reparaturarbeit, darf der Motor nicht wieder auf die Pumpe aufgesetzt werden.

Nachdem aufgezählt worden ist, welche Reparaturarbeiten an explosionsgeschützten Motoren nur durch zertifiziertes oder qualifiziertes Personal durchgeführt werden dürfen, soll im Folgenden geklärt werden, welche Arbeiten der Betreiber an EExe- und EExd-Motoren selbst ausführen kann.

- Reparatur von äußeren Bauteilen, die keine Auswirkungen auf die Zündschutzart des Motors haben.



Sollte es notwendig sein, den Motor zerlegen zu müssen, sind die im jeweiligen Land geltenden Vorschriften zu beachten. Besonders bei EExd-Motoren ist dies von Bedeutung, weil durch das Zerlegen und den Zusammenbau des Motors die Grenzspaltweiten verändert werden könnten.

Es wird empfohlen, die durchgeführten Reparaturarbeiten sowie den Austausch von Komponenten für jeden Motor aufzuzeichnen.

Bestehen Zweifel, ob die Reparaturarbeiten Auswirkungen auf den Explosionsschutz der Ausrüstung haben, darf die Reparatur nur durch entsprechend qualifiziertes Fachpersonal durchgeführt werden.

Was bietet Grundfos in diesem Bereich?

Pumpen der Grundfos Baureihe CR sind in die Gerätekategorien 2 und 3 eingestuft und können in den Zonen 21 und 22 für Staub sowie 1 und 2 für Gas eingesetzt werden.

Bestimmte Grundfos Pumpen und Motoren sind jedoch nicht für den Betrieb in gefährdeten Bereichen zugelassen. Deshalb unterhält Grundfos eine enge Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern von Ex-Motoren. Jeder von ihnen liefert gekapselte, staubexplosionsgeschützte und nichtfunkende Motoren sowie Motoren mit erhöhter Sicherheit.

Zu den nicht für den Einsatz in gefährdeten Bereichen in Verbindung mit explosionsfähigen Gasen zugelassenen Motoren gehören die Grundfos Motoren MGE, MMGE, MG und MMG.

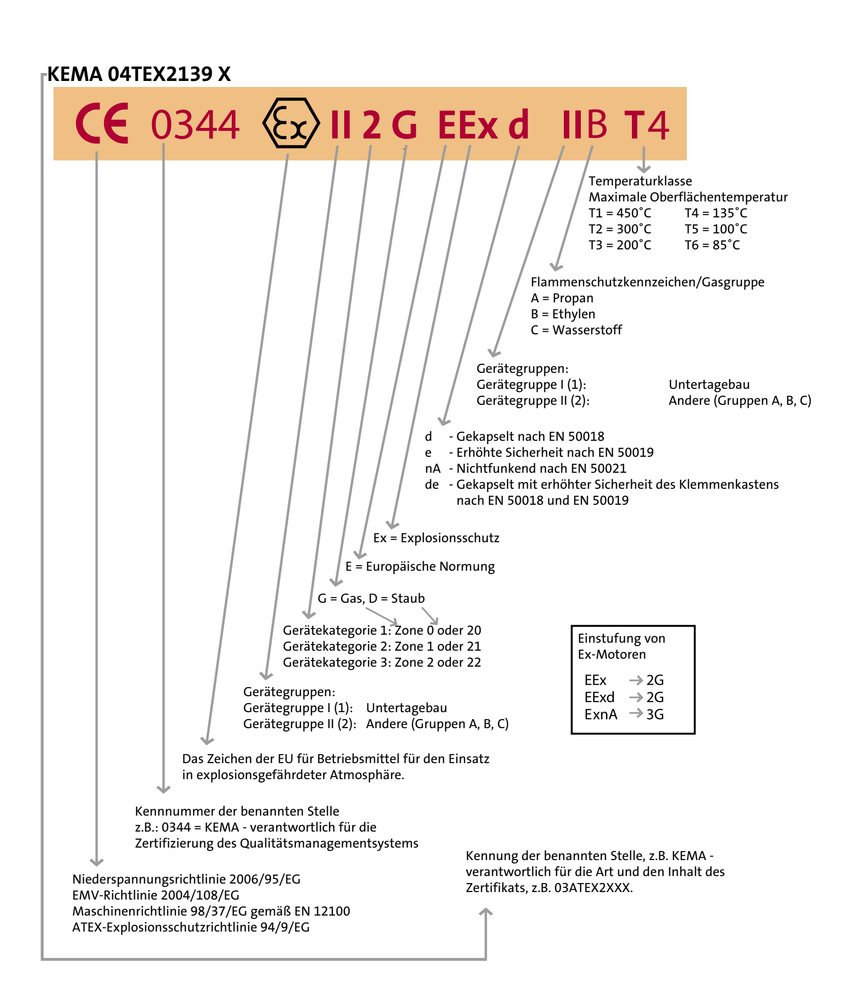


Was bietet Grundfos in diesem Bereich?

Zündschutzart	EEx d	EEx de	EEx e	EEx nA
Bezeichnung	explosionsgeschützt	explosionsgeschützt mit einem Klemmenkasten mit erhöhter Sicherheit	Erhöhte Sicherheit	nichtfunkend
Ziel	Verhindern, dass eine Explosion im Innern sich nach außen ausbreitet	Die Explsoion darf sich nicht in der Außenumgebung ausbreiten. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Klemmenkasten.	Es dürfen keine Lichtbögen und Funken während des Normalbetriebs oder beim Anlaufen entstehen.	Es dürfen keine Lichtbögen und Funken unter normalen Betriebsbedingungen entstehen
Zeit t_E	Nicht zutreffend	Nicht zutreffend	Zutreffend	Nicht zutreffend
Aufbau	Robustes Gehäuse	Robustes Gehäuse. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Klemmenkasten	Ähnlich wie ein Normmmotor, jedoch mit besonderen Eigenschaften des Klemmenkastens und der rotierenden Bauteile	Ähnlich wie ein Normmmotor, jedoch mit besonderen Eigenschaften des Klemmenkastens
Leistung bezogen auf die Baugröße	Standard	Standard	Reduziert	Standard
Klemmenkasten	explosionsgeschützt	explosionsgeschützt mit erhöhter Sicherheit	Erhöhte Sicherheit	Erhöhte Sicherheit

Die Tabelle gibt einen Überblick über die verschiedenen Arten von Ex-Motoren. Welche Art von Motor gewählt wird, hängt von der Praxis und den anzuwendenden Richtlinien ab. Die Enstscheidung zwischen einem EExd- und EExe-Motor hingegen fällt häufig aus der Tradition heraus. Wichtig ist aber auch hier, in welche Anwendung der Motor eingebaut wird.

Was bietet Grundfos in diesem Bereich?



KEMA 04TEX2139 X

CE 0344 Ex II 2 D T125°

T125°C = Beurkundete externe Oberflächentemperatur

G = Gas, D = Staub

Gerätekategorie 1: Zone 0 oder 20
Gerätekategorie 2: Zone 1 oder 21
Gerätekategorie 3: Zone 2 oder 22

Gerätegruppen:
Gerätegruppe I (1): Untertagebau
Gerätegruppe II (2): Andere (Gruppen A, B, C)

Das Zeichen der EU für Betriebsmittel für den Einsatz in explosionsgefährdeter Atmosphäre.

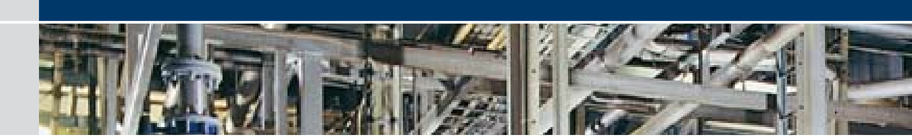
Kennnummer der benannten Stelle
z.B.: 0344 = KEMA - verantwortlich für die Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems

Niederspannungsrichtlinie 2006/95/EG
EMV-Richtlinie 2004/108/EG
Maschinenrichtlinie 98/37/EG gemäß EN 12100
ATEX-Explosionsschutzrichtlinie 94/9/EG

Kennung der benannten Stelle, z.B. KEMA - verantwortlich für die Art und den Inhalt des Zertifikats, z.B. 03ATEX2XXX.


GRUNDFOS

6. Motorschutz



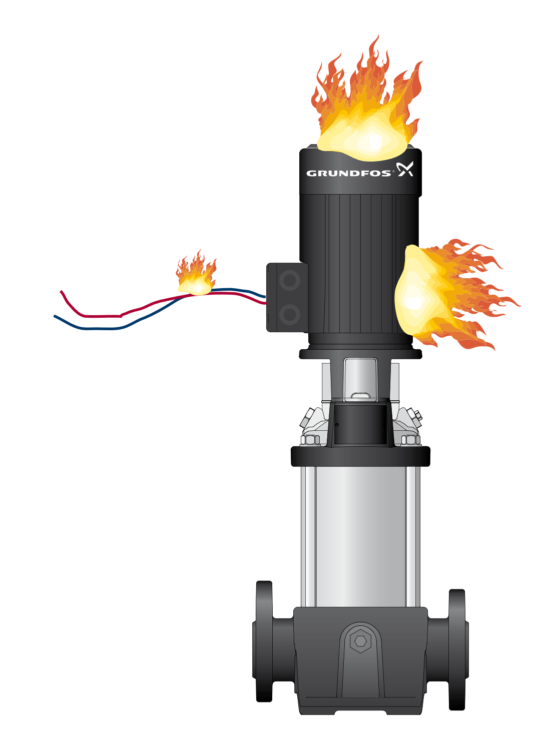
Warum ist ein Motorschutz erforderlich?

Um unerwartete Anlagenausfälle, kostspielige Reparaturen und erhebliche Umsatzverluste durch lange Ausfallzeiten des Motors zu vermeiden, sollte der Motor über einen gewissen Motorschutz verfügen. Grundsätzlich kann der Motorschutz in drei verschiedene Katagorien unterteilt werden:

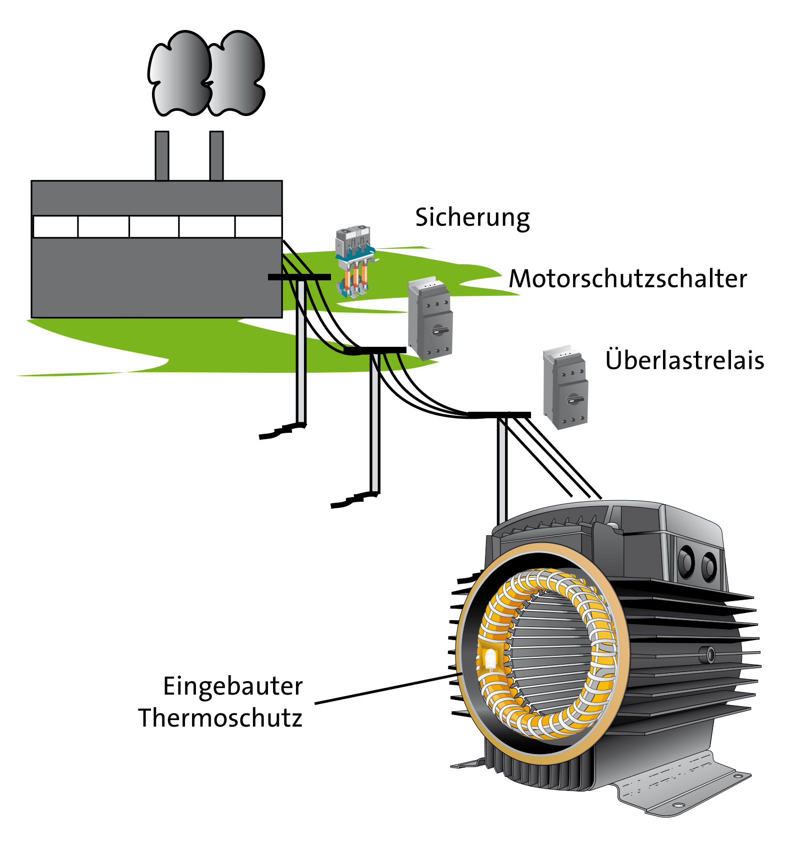
- **Externer Schutz der gesamten Installation gegen Kurzschluss.** Als externe Schutzeinrichtung dienen in der Regel verschiedene Arten von Sicherungen oder Kurzschlussrelais. Diese Schutzeinrichtung ist gesetzlich vorgeschrieben und unterliegt gewissen Sicherheitsbestimmungen.

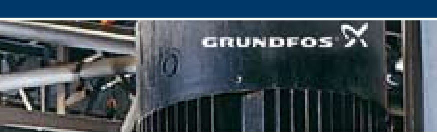
- **Externer Schutz bestimmter Geräte gegen Überlast,** um z.B. eine Überlastung des Pumpenmotors zu verhindern und so eine Beschädigung oder den Ausfall des Motors zu vermeiden. Diese Art der Schutzeinrichtung spricht auf Strom an.

- **Eingebauter Motorschutz** mit thermischem Überlastschutz zur Vermeidung von Schäden am Motor oder Motorausfällen. Der integrierte Schutz erfordert immer einen externen Motorschutzschalter, während einige integrierte Motorschutzarten zusätzlich noch ein Überlastrelais benötigen.



Ca. 30 % der Motorstörungen ist auf Überlastung zurückzuführen.
Quelle: Electrical Research Association, USA



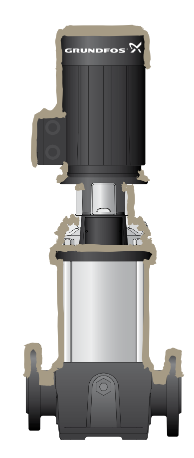


Welche Störungen sind durch den Motorschutz abgedeckt?

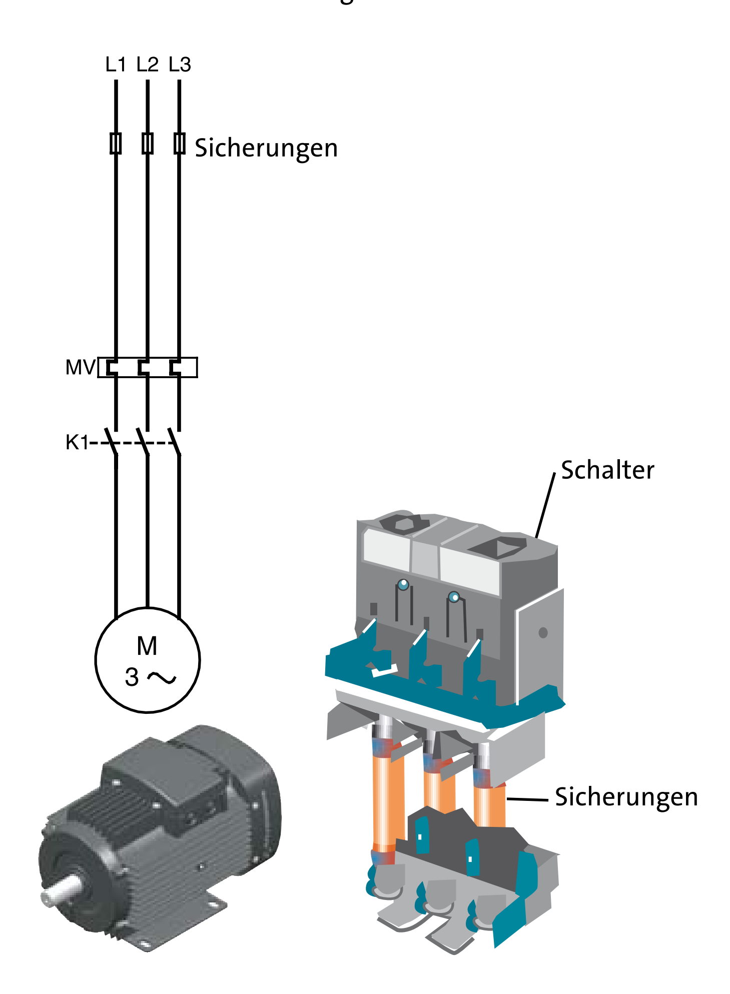
Es kann eine Vielzahl an Störungen an den unterschiedlichsten Stellen in der Anwendung auftreten. Deshalb ist es wichtig, die Ursache für die Ereignisse vorherzusehen und den Motor gegen Wiedrigkeiten bestmöglich zu schützen. Es folgt deshalb eine Auflistung der häufigsten Störungen, durch die der Motor beschädigt werden könnte und die durch einen wirksamen Motorschutz verhindert werden können.

- Probleme mit der Qualität der Spannungsversorgung:
  - Überspannung
  - Unterspannung
  - Schwankende Spannungen/Ströme
  - Frequenzschwankungen
- Installationsfehler, Motoraufstellung und Spannungsversorgung
- Langsam auftretender Temperaturanstieg durch:
  - unzureichende Kühlung
  - hohe Umgebungstemperatur
  - Betrieb an einem hoch gelegenen Ort
  - hohe Medientemperatur
  - zu hohe Viskosität des Fördermediums
  - häufige Einschaltungen
  - zu hohe Massenträgheit (normalerweise nicht bei Pumpen)
- Schnell auftretender Temperaturanstieg durch:
  - blockierten Rotor
  - Phasenausfall

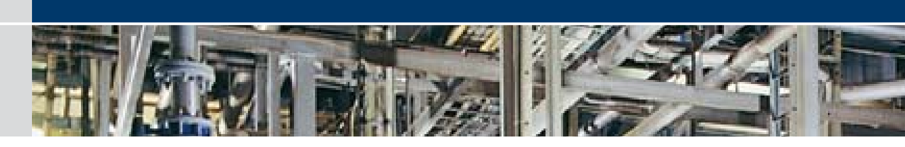
Zum Schutz eines Stromkreises gegen Überlast und Kurzschluss muss die Schutzeinrichtung erkennen, wann eine dieser Störungszustände auftritt. Bei Auftreten einer dieser Störungen muss die Schutzeinrichtung den Stromkreis automatisch von der Spannungsversorgung trennen. Eine Sicherung ist die einfachste Schutzeinrichtung, die diese beiden Funktionen bietet. Herkömmliche Sicherungen sind mit einem Sicherungstrenner gekoppelt, der den Stromkreis abschalten kann. Auf den folgenden Seiten werden drei Arten von Sicherungen mit ihren Funktionen und Anwendungsbereichen vorgestellt: Lasttrennschalter, „flinke“ Sicherung und „träge“ Sicherung.



Mangelnde Kühlung durch äußere Verschmutzung des Motors



Sicherungstrenner



Welche Störungen sind durch den Motorschutz abgedeckt?

Lasttrennschalter (Sicherungstrenner)

Ein Lasttrennschalter ist ein Sicherheitsschalter mit einer Sicherung, die beide in einem Gehäuse untergebracht sind. Der Schalter öffnet und schließt den Stromkreis, während die Sicherung gegen Überstrom schützt.

Schalter werden in der Regel zum Abschalten der Spannungsversorgung bei Servicearbeiten oder bei Auftreten von Störungen verwendet.

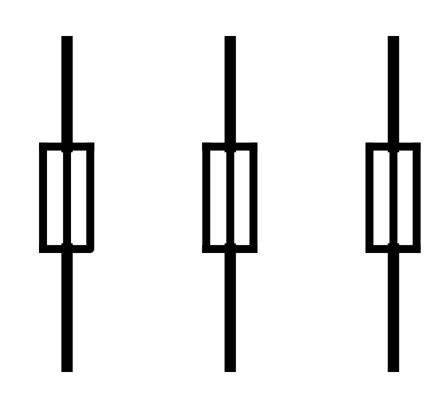
Ein Lasttrennschalter ist in einem eigenen Gehäuse untergebracht. Das Gehäuse dient als Schutz für Personen gegen direktes Berühren bei unbeabsichtigt auftretenden Strömen und gegen Witterungseinflüsse. Einige Sicherungstrenner haben eine integrierte Sicherungsfuntion, während bei anderen, die nur einen Schalter besitzen, keine Sicherungen eingebaut sind.

Die Überstromschutzeinrichtung (Sicherung) muss den Unterschied zwischen Überstrom und Kurzschluss erkennen. So sind beispielsweise geringe Überströme kurzzeitig zulässig. Nimmt die Stärke des Stroms jedoch zu, muss die Schutzeinrichtung schnell reagieren. Denn bei Auftreten von Kurzschlüssen muss der Stromkreis sofort unterbrochen werden.

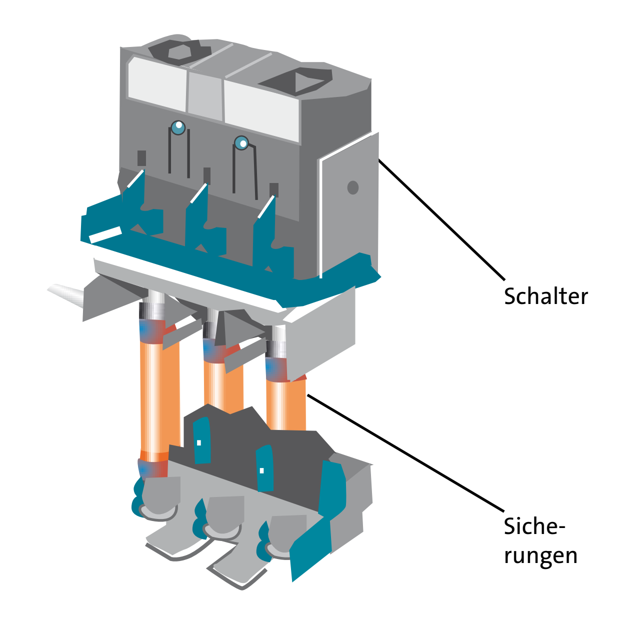
Ein Lasttrennschalter mit Sicherung ist ein Beispiel für eine Überstrom-Schutzeinrichtung. Entsprechend ausgelegte Sicherungen im Schalter öffnen den Stromkreis, sobald ein Überstrom auftritt.

Flinke Sicherungen

Sicherungen, die ohne Verzögerung ansprechen, bieten einen hervorragenden Schutz gegen Kurzschluss. Bei diesen Sicherungen können jedoch kurzzeitige Überlastungen, wie z.B. Motoranlaufströme, zu Problemen führen. Deshalb werden verzögerungsfreie Sicherungen bevorzugt in Stromkreisen eingesetzt, die keinen großen Stromschwankungen unterliegen. In der Regel nehmen verzögerungsfreie Sicherungen ca. 500 % ihres Nennstroms nur für eine Viertel-Sekunde auf. Danach schmilzt das stromführende Element und öffnet die Sicherung. Deshalb wird der Einsatz von verzögerungsfreien Sicherungen in Stromkreisen zur Versorgung von Motoren nicht empfohlen, weil der Anlaufstrom häufig 500 % des Nennstroms der Sicherung übersteigt.



In elektrischen Schaltplänen werden Sicherungen in der Regel durch diese Symbole dargestellt.



Lasttrennschalter



Welche Störungen sind durch den Motorschutz abgedeckt?

Träge Sicherungen

Diese Sicherungsart bietet sowohl Schutz gegen Überlast als auch gegen Kurzschluss. In der Regel lassen sie für bis zu 10 Sekunden einen 5 mal höheren Strom als den Nennstrom und kurzzeitig sogar noch höhere Ströme zu. Im Allgemeinen ist dies ausreichend, damit ein Motor anlaufen kann, ohne dass die Sicherung auslöst. Andererseits öffnet die Sicherung bei länger auftretender Überlast.

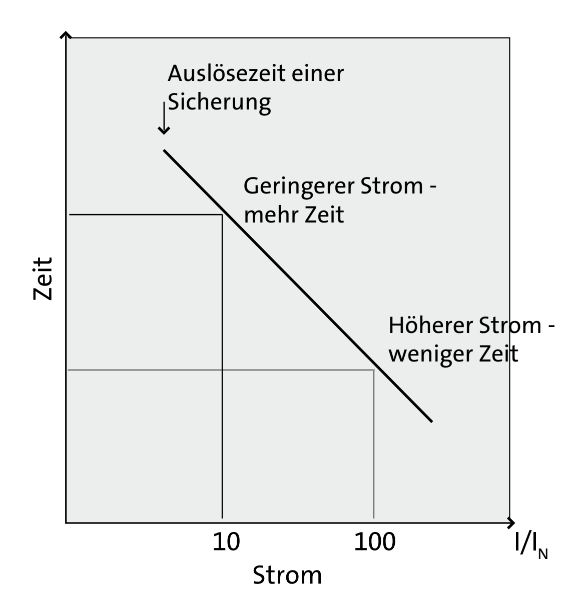
Auslösezeit der Sicherung

Die Auslösezeit der Sicherung ist die Reaktionszeit, die die Sicherung zum Öffnen benötigt. Sicherungen haben ein umgekehrt proportionales Zeitverhalten, d.h. je höher der Strom, desto kürzer die Auslösezeit.

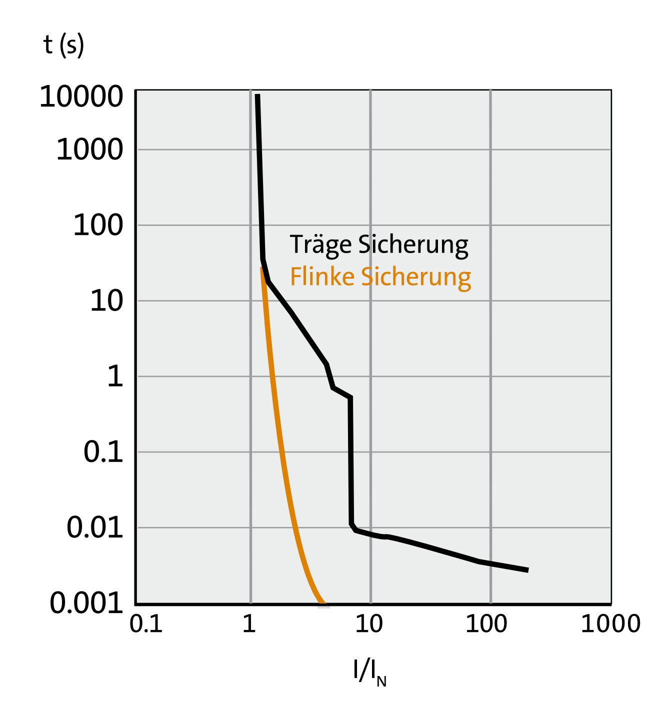
Allgemein haben Pumpenmotoren eine sehr kurze Hochlaufzeit, die unter 1 Sekunde liegt. Deshalb sind durchgebrannte Sicherungen während der Anlaufphase in der Regel kein Thema bei Pumpen, wenn die Sicherungen auf den Nennstrom des Motors ausgelegt sind und es sich um träge Sicherungen handelt.

Die Abbildung auf der rechten Seite unten zeigt die charakteristische Auslösekurve einer Sicherung. Auf der x-Achse ist das Verhältnis zwischen dem aktuellen Strom zum Nennstrom aufgetragen: Zieht der Motor den Nennstrom oder auch einen geringeren Strom, löst die Sicherung nicht aus. Ist der Strom jedoch 10 mal höher als der Nennstrom, löst die Sicherung in sehr kurzer Zeit aus (0,01 s). Auf der y-Achse ist die Auslösezeit aufgetragen.

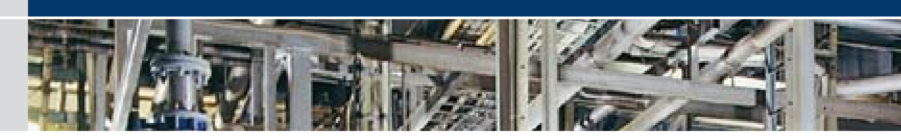
Während der Anlaufphase verbraucht ein Induktionsmotor sehr viel Strom. In seltenen Fällen kann dies zum Abschalten über Relais oder Sicherungen führen. Deshalb gibt es unterschiedliche Einschaltarten für den Motor, um den Anlaufstrom des Rotors zu reduzieren.



Allgemeine Auslösekurve für eine Sicherung. Die Kurve zeigt das Verhältnis zwischen aktuellem Strom und Nennstrom.



Auslösekurve für eine flinke und träge Sicherung. Für einen Motor ist eine träge Sicherung wegen des hohen Anlaufstroms am besten geeignet.



Aufgabe und Funktion eines Motorschutzschalters

Ein Motorschutzschalter ist eine Überstrom-Schutzeinrichtung. Er öffnet und schließt einen Stromkreis automatisch bei einem vorgegebenen Überstrom. Wird der Motorschutzschalter ordnungsgemäß innerhalb seines Nennbereichs eingesetzt, wird er durch das Öffnen und Schließen nicht beschädigt.

Der Motorschutzschalter kann sofort nach Auftreten einer Überlast wieder eingeschaltet werden. Er lässt sich nach Beheben der Störung ganz einfach zurücksetzen.

Es wird zwischen zwei Arten von Motorschutzschaltern unterschieden: Thermoschutzschalter und magnetischer Schutzschalter.

Thermoschutzschalter

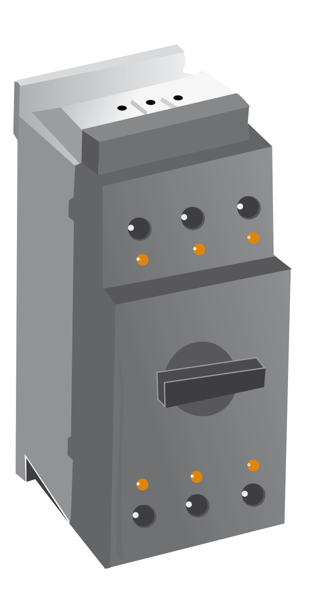
Thermoschutzschalter sind die zuverlässigsten und kostengünstigsten Schutzeinrichtungen und bestens zum Schutz von Motoren geeignet. Sie halten problemlos hohe Stromamplituden aus, die beim Anlaufen des Motors entstehen und schützen den Motor wirksam gegen Störungen, wie z.B. einen blockierten Rotor.

Magnetischer Schutzschalter

Magnetische Schutzschalter sind genau, zuverlässig und kostengünstig. Sie sind zudem äußerst temperaturstabil, d.h. Änderungen der Umgebungstemperatur haben fast keinen Einfluss auf die Funktion.
Im Vergleich zu Thermoschutzschaltern bieten magnetische Schutzschalter eine genauere Auslösezeit. In der Tabelle unten auf der rechten Seite sind die Eigenschaften der beiden Schutzschalterarten zusammengefasst.

Auslegung eines Schutzschalters

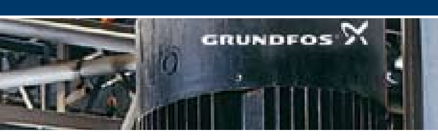
Motorschutzschalter werden nach der Höhe des Fehlerstroms ausgelegt, ab dem sie den Stromkreis unterbrechen. Bei der Auswahl des Motorschutzschalters ist deshalb auf den größtmöglichen Kurzschlussstrom zu achten, der in der Anwendung auftreten kann. Der Motorschutzschalter muss in der Lage sein, diesem Kurzschlussstrom wiederstehen zu können.



Ein Motorschutzschalter ist eine Überstrom-Schutzeinrichtung. Er öffnet und schließt einen Stromkreis automatisch bei einem vorgegebenen Überstrom. Danach kann der Stromkreis automatisch oder manuell wieder geöffnet werden.

Eigenschaften von Thermoschutzschaltern und magnetischen Schutzschaltern

Thermisch	Magnetisch
temperaturempfindlich	temperaturunempfindlich
spannungsunempfindlich	spannungsempfindlich
feste Zeitverzögerung	mehrere Zeitverzögerungen
Rückstelltaste und Schaltfunktion	Schaltfunktion
begrenzte Stromkreisfunktionen	mehrere Stromkreisfunktionen
kleine Bauform	größere Bauform
geringere Kosten	höhere Kosten



Aufgabe und Funktion von Überlastrelais

Überlastrelais

- ermöglichen, für den Motor unschädliche, zeitweise auftretende Überlast (z.B. während des Motoranlaufs) ohne Unterbrechen des Stromkreises zu bewältigen.
- öffnen beim Auslösen einen Motorstromkreis, wenn der Strom die Grenzwerte übersteigt und so den Motor beschädigen könnte.
- werden nach Beenden des Überlastzustands automatisch oder manuell zurückgesetzt.

In den IEC- und NEMA-Normen sind die Auslöseklassen auch für Überlastrelais angegeben.

Bezeichnung von Auslöseklassen

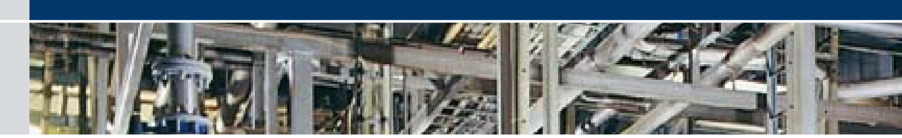
Grundsätzlich reagieren Überlastrelais auf Überlastbedingungen entsprechend ihrer Auslösekurve. Unabhängig von der Produktausführung (nach NEMA oder IEC) geben die Auslöseklassen die Zeitspanne vom Auftreten der Überlast bis zum Öffnen des Relais an. Die gebräuchlichsten Klassen sind 10, 20 und 30. Die Zahl bezieht sich dabei auf die Zeit, die bis zum Auslösen des Relais verstreicht. Ein Überlastrelais der Klasse 10 löst bei 600 % des Volllaststroms innerhalb von 10 Sekunden oder weniger aus. Bei einem Überlastrelais der Klasse 20 sind es 20 Sekunden oder weniger und bei einem Überlastrelais der Klasse 30 beträgt die Auslöszeit 30 Sekunden oder weniger.

Die Steigung der Auslösekurve ist abhängig von der Motorschutzklasse. IEC-Motoren werden in der Regel an die Anwendung angepasst, für die sie ausgelegt sind. Das bedeutet, dass das Überlastrelais in der Lage sein muss, Überströme bis nahe an die maximale Motorleistung zu bewältigen. Die Auslösezeit ist die Zeit, die ein Relais bei auftretender Überlast zum Auslösen benötigt. Wie bereits zuvor erwähnt, ist sie in unterschiedliche Klassen unterteilt. Die gebräuchlichsten Auslöseklassen sind 10, 20 und 30. Die Auslöseklasse 10 ist die am häufigsten verwendete Auslöseklasse bei IEC-Motoren, weil diese häufig an die Anwendung angepasst werden. NEMA-Motoren hingegen verfügen über eine höhere Überschussleistung. Deshalb ist hier die Auslöseklasse 20 am gebräuchlichsten.

Auslösezeit
2 h
1 h
20 min
10 min
4 min
2 min
1 min
30 s
20 s
10 s
4 s
2 s
1 s
100
200
400
800
1000
% vom Nennstrom
Klasse 30
Klasse 20
Klasse 10

Die Auslösezeit ist die Zeit, die ein Relais bei auftretender Überlast zum Auslösen benötigt. Sie ist in unterschiedliche Klassen unterteilt.

Aufgabe und Funktion von Überlastrelais



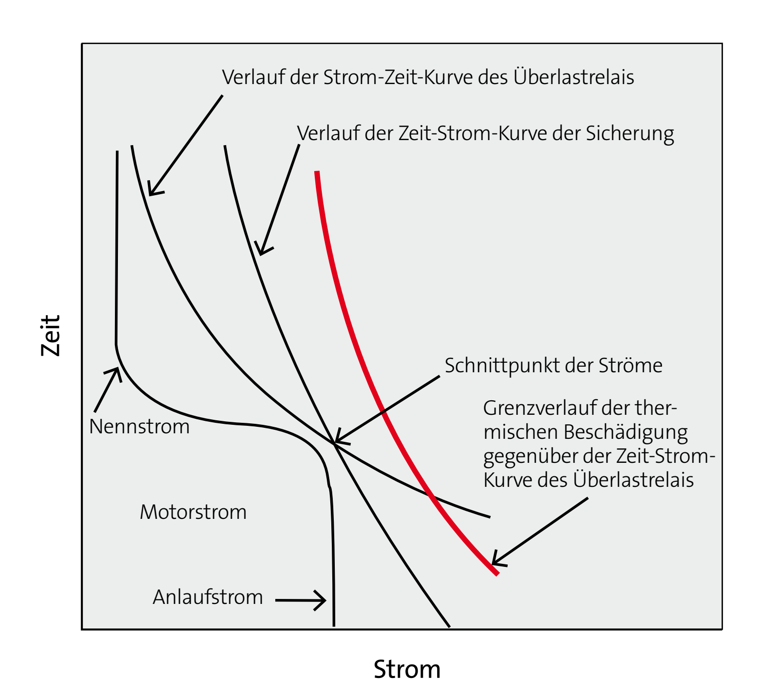
Überstromrelais der Auslöseklasse 10 schalten den Motor bei 600 % des Nennstroms innerhalb von 10 Sekunden ab. Die Auslöseklasse 10 wird in der Regel für Pumpenmotoren verwendet, weil die Hochlaufzeit dieser Motoren zwischen 0,1 und 1 Sekunde liegt. Andere Geräte im Industriebereich mit einer hohen Massenträgheit benötigen jedoch eine längere Anlaufzeit, so dass hier die Auslöseklasse 20 erforderlich ist.

Verknüpfen von Sicherungen und Überlastrelais

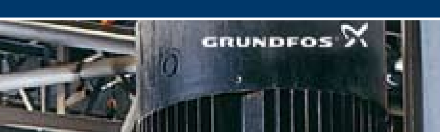
Sicherungen schützen davor, dass Kurzschlüsse die elektrische Installation beschädigen und im schlimmsten Fall einen Brand auslösen. Sie müssen deshalb eine ausreichende Kapazität besitzen. Das Überlastrelais hingegen ist zum Schutz gegen kleinere Ströme vorgesehen. In disem Fall enspricht der Nennstrom der Sicherung nicht dem Motornennstrom, sondern dem Strom, der mit hoher Wahrscheinlichkeit die schwächsten Komponenten in der Installation schädigt. Wie bereits erwähnt, dient die Sicherung als Schutz vor Kurzschluss und nicht als Schutz vor geringem Überstrom.

Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt die wichtigsten Parameter, die die Grundlage für ein erfolgreiches Zusammenwirken von Sicherungen und Überlastrelais bilden.

Die Sicherung muss auslösen, bevor andere Bauteile der Installation durch übermäßige Hitzeeinwirkung aufgrund eines Kurzschlusses beschädigt werden.



Die Abbildung oben zeigt die wichtigsten Parameter, die die Grundlage für ein erfolgreiches Zusammenwirken von Sicherungen und Überlastrelais bilden. Die Zeit-Strom-Kurve der Sicherung muss immer unterhalb der (roten) Grenzkurve für thermische Beschädigungen verlaufen.



Externe Motorschutzrelais mit Zusatzfunktionen

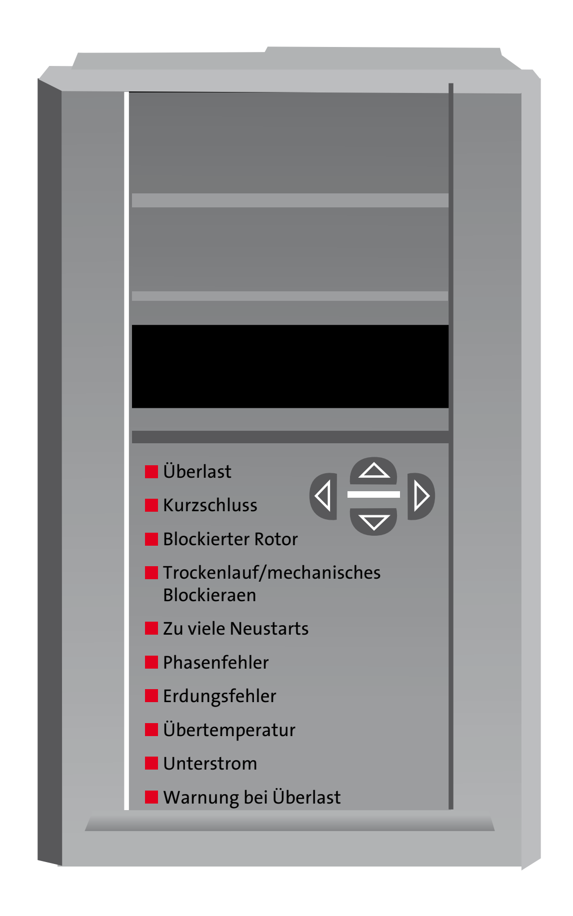
Externe Motorschutzgeräte mit Zusatzfunktionen schützen auch vor Überspannung, Phasenabweichungen, zu viele Ein- und Ausschaltungen sowie Schwingungen und ermöglichen zusätzlich die Überwachung der Stator- und Lagertemperatur mit Hilfe eines Pt 100, des Isolationswiderstandes und der Umgebungstemperatur. Zudem können diese Motorschutzeinrichtungen auch die Signale eines integrierten Thermoschutzes verarbeiten. Thermoschutzeinrichtungen werden jedoch erst später in diesem Kapitel behandelt.

Die externen Motorschutzrelais sind dazu bestimmt, dreiphasige Motoren gegen Einflüsse zu schützen, die kurz- oder langfristig zu Schäden an den Motoren führen. Zusätzlich zum Motorschutz bietet das externe Schutzrelais zusätzliche Funktionen, die den Motor in unterschiedlichen Situationen schützen können:

- Auslösen eines Alarms, bevor Schäden durch eine Prozessstörung entstehen können
- Fehlerdiagnose nach einer Störung
- Überprüfung des ordnungsgemäßen Relaisbetriebs im Rahmen einer routinemäßigen Wartung
- Überwachung der Lager im Bezug auf Temperatur und Schwingungen

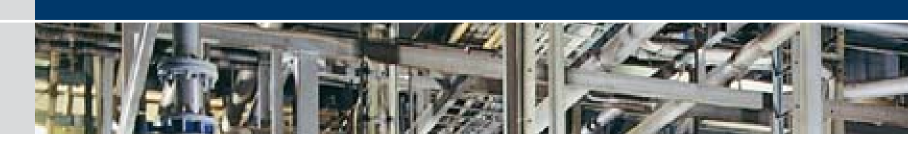
Überlastrelais können über die gesamte Anlage verteilt und an eine zentrale Steuerung angebunden werden. Sie dienen zur laufenden Überwachung und ermöglichen eine schnelle Fehlerdiagnose. Ist ein externes Schutzrelais als Überlastrelais installiert, verringern sich die Ausfallzeiten aufgrund von Prozessstörungen. Denn so können Störungen schnell erkannt werden, bevor Schäden am Motor auftreten.
Der Motor kann z.B. geschützt werden vor:

- Überlast
- Blockieren des Rotors
- Trockenlauf/mechanischem Blockieren
- zu vielen Neustarts
- Phasenfehlern
- Erdungsfehlern
- Übertemperatur (bei Verwendung des vom Motor gelieferten Pt100- oder Thermistorsignals)
- Unterstrom
- Überlast (Warnung)



Motorschutzrelais mit Zusatzfunktionen

Externe Motorschutzrelais mit Zusatzfunktionen



Einstellen von externen Überlastrelais

Der auf dem Typenschild des Motors angegebene Nennstrom bei vorgegebener Spannung ist für die Einstellung des Überlastrelais bindend. Wegen der unterschiedlichen Spannungen, die auf der ganzen Welt Verwendung finden, sind Pumpenmotoren häufig für den Einsatz in einem großen Spannungsbereich und für Frequenzen von 50 und 60 Hz konzipiert. Deshalb ist auf dem Motortypenschild ein Strombereich angegeben. Die genaue Stromaufnahme kann berechnet werden, wenn die Spannung bekannt ist.

Berechnungsbeispiel

Ist die genaue Spannung zur Versorgung der Installation bekannt, kann der Nennstrom bei z.B. 254 Δ/440 Y V, 60 Hz ermittelt werden.

Die auf dem Typenschild angegebenen Daten sind der Abbildung auf der rechten Seite zu entnehmen.

f = 60 Hz

U = 220-277 Δ/380 - 480 Y V

I_N = 5,70 - 5,00/3,30 - 2,90 A

Bestimmen der 60-Hz-Daten

U_a = 254 Δ/440 Y V (vorhandene Spannung)

U_{min} = 220 Δ/380 Y V
(Untere Werte des Spannungsbereichs)

U_{max} = 277 Δ/480 Y V
(Obere Werte des Spannungsbereichs)

Das Spannungsverhältnis wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

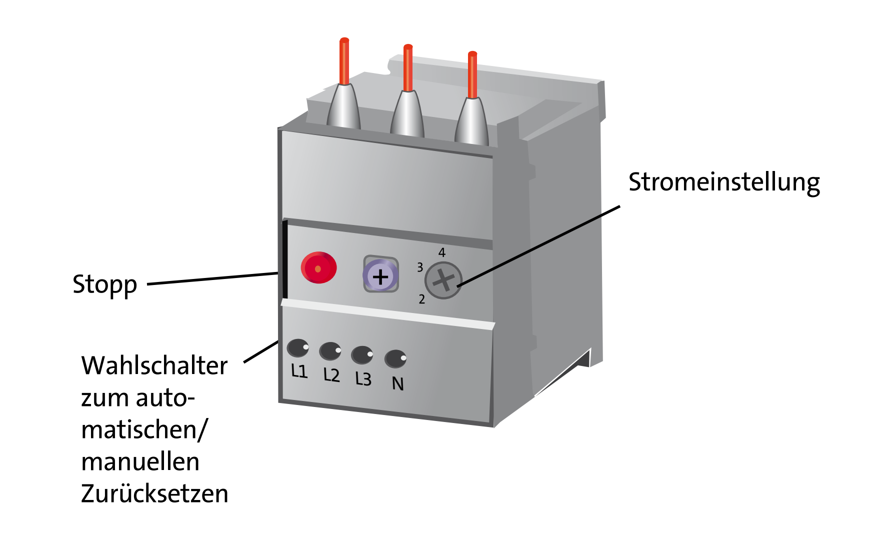
$$U\Delta = \frac{U_a - U_{min}}{U_{max} - U_{min}}$$

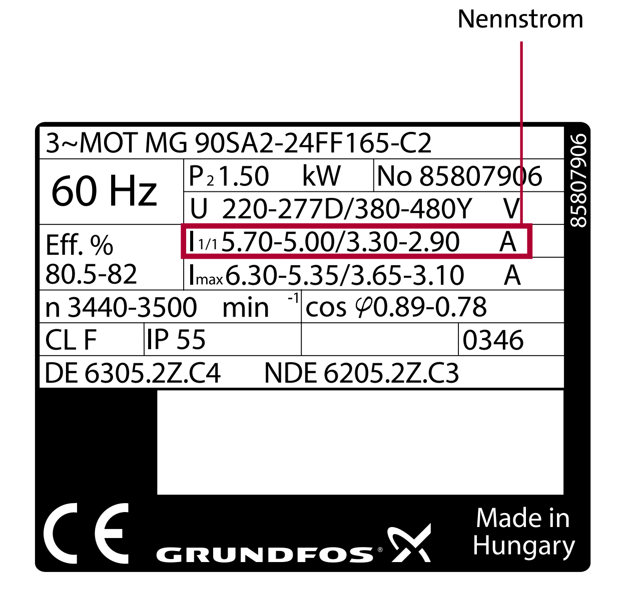
$$\text{hier: } \frac{254 - 220}{227 - 220} = 0{,}6$$

$$UY = \frac{U_a - U_{min}}{U_{max} - U_{min}}$$

$$\text{hier: } \frac{440 - 380}{480 - 380} = 0{,}6$$

$$U\Delta = U\,Y = 0{,}6$$





Der auf dem Typenschild angegebene Volllaststrom bei vorgegebener Spannung ist für die Einstellung des Überlastrelais bindend.

Externe Motorschutzrelais mit Zusatzfunktionen

Berechnen des tatsächlichen Nennstroms (I):

I_{min} = 5,70/3,30 A
(Stromwerte für Dreieck- und Sternschaltung bei minimaler Spannung)

I_{max} = 5,00/2,90 A
(Stromwerte für Dreieck- und Sternschaltung bei maximaler Spannung)

Damit kann der Nennstrom mit Hilfe der ersten Gleichung berechnet werden:

Strom I für die Werte der Dreieck-Schaltung:
5,70 + (5,00 - 5,70) • 0,6 = 5,28 = 5,30 A

Strom I für die Werte der Stern-Schaltung:
3,30 + (2,90 - 3,30) • 0,6 = 3,06 = 3,10 A

Die Werte für den Volllaststrom entsprechen dem zulässigen Volllaststrom des Motors bei 254 Δ/440 Y V, 60 Hz.



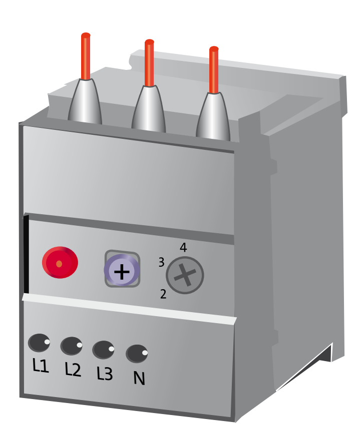
Richtwert: Das externe Motorüberlastrelais wird immer auf den auf dem Typenschild angegebenen Nennstrom eingestellt.

Wird bei der Konstruktion der Motoren jedoch ein Betriebsfaktor berücksichtigt, der dann ebenfalls auf dem Typenschild angegeben ist (z.B. 1,15) kann der am Überlastrelais eingestellte Strom den Nennstrom oder den Betriebsfaktorstrom, der in der Regel auf dem Typenschild angegeben ist, um 15 % übersteigen.

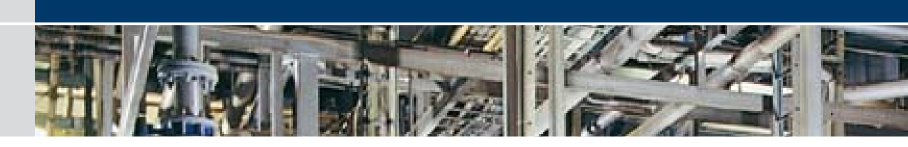
3~MOT MG 90SA2-24FF165-C2			
60 Hz	P_2 1.50 kW	No 85807906	
	U 220-277D/380-480Y V		
Eff. %	$I_{1/1}$ 5.70-5.00/3.30-2.90 A		
80.5-82	I_{max} 6.30-5.35/3.65-3.10 A		
n 3440-3500 min^{-1}	cos φ 0.89-0.78		
CL F	IP 55		0346
DE 6305.2Z.C4	NDE 6205.2Z.C3		

85807906

CE GRUNDFOS Made in Hungary



Ist der Motor über eine Stern-Schaltung an ein Versorgungsnetz mit 440 V, 60 Hz angeschlossen, muss das Überlastrelais auf 3,1 A eingestellt werden.



Integrierter Motorschutz

Warum ist ein integrierter Motorschutz erforderlich, wenn der Motor bereits mit einem Überlastrelais und Sicherungen abgesichert ist? Weil das Überlastrelais in einigen Fällen eine Überlastung des Motors nicht erkennt. Hier sind einige Beispiele zusammengestellt:

- Bei abgedecktem Motor und langsamer Erwärmung des Motors auf eine hohe Temperatur, die zu Beschädigungen führen kann.
- Allgemein bei hohen Umgebungstemperaturen.
- Wenn der externe Motorschutz auf einen zu hohen Auslösewert eingestellt oder falsch installiert ist.
- Erfolgt in kurzen Zeitabständen ein häufiger Neustart des Motors, wird der Motor durch den Anlaufstrom erwärmt und kann dadurch eventuell beschädigt werden.

Der Schutzgrad, den eine integrierte Schutzeinrichtung bietet, ist in der Norm IEC 60034-11 definiert.

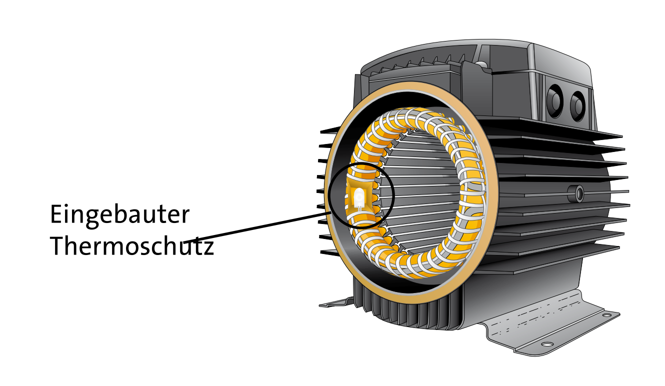
TP-Kennzeichnung

TP ist die Abkürzung für "Thermal Protection" (dt. = Thermoschutz). Der Thermoschutz kann in unterschiedlicher Form ausgeführt sein. Er ist gekennzeichnet durch einen TP-Code (TPxxx), der Folgendes angibt:

- Art der thermischen Überlast, für den der Thermoschutz vorgesehen ist (1. Ziffer).
- Anzahl der Niveaus und Art der Maßnahme (2. Ziffer)
- Kategorie des eingebauten Thermoschutzes (3. Ziffer)

Die gebräuchlichsten TP-Kennzeichnungen in Verbindung mit Pumpenmotoren sind:

TP 111: Schutz gegen langsam auftretende Überlast
TP 211: Schutz gegen schnell und langsam auftretende Überlast.



In den Wicklungen integrierter Motorschutz

Kennzeichnung	Technische, zeitabhängige Überlastung (1. Ziffer)	Anzahl der Niveaus und Funktionsbereiche (2. Ziffer)	Kategorie (3. Ziffer)
TP 111	nur langsam (z.B. konstante Überlast)	1 Niveau für Ausschalten	1
TP 112			2
TP 121		2 Niveaus für Alarmmeldung und Ausschalten	1
TP 122			2
TP 211	langsam und schnell (z.B. konstante Überlast und blockierter Zustand)	1 Niveau für Ausschalten	1
TP 212			2
TP 221		2 Niveaus für Alarmmeldung und Ausschalten	1
TP 222			2
TP 311	nur schnell (z.B. blockierter Zustand)	1 Niveau für Ausschalten	1
TP 312			2

Angabe des zulässigen Temperaturniveaus, wenn der Motor einer thermischen Überlastung ausgesetzt ist. Die Kategorie 2 erlaubt höhere Temperaturen als Kategorie 1.



Integrierter Motorschutz

Alle einphasigen Grundfos Motoren haben einen strom- und temperaturabhängigen Motorschutz in Übereinstimmung mit der Norm IEC 60034-11. Der Motorschutz entspricht der TP-Klasse TP 211, der somit auf schnelle und langsame Temperaturanstiege reagiert. Die Schutzeinrichtung wird automatisch zurückgesetzt.

3-phasige Grundfos MG-Motoren ab 3,0 kW sind standardmäßig mit einem Kaltleiter (PTC) ausgerüstet. Diese Motoren sind als TP-211-Motoren zugelassen und geprüft. Die Schutzeinrichtung reagiert auf schnelle und langsame Temperaturanstiege.

Auch andere für Grundfos Pumpen verwendete Motoren (wie z.B. MMG Modelle D und E, Siemens, Baldor) können den Schutzgrad TP 211 aufweisen. Meistens besitzen sie jedoch den Schutzgrad TP 111. Die Angabe auf dem Typenschild ist zu beachten.

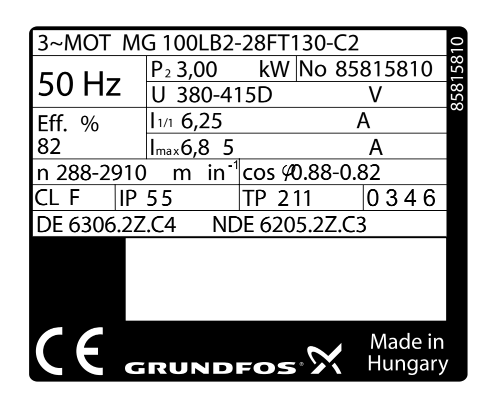
Informationen über den thermischen Schutzgrad sind auf dem Typenschild in Form der TP-Kennzeichnung nach IEC 60034-11 angegeben.

Grundsätzlich kann ein interner Schutz mit Hilfe von zwei Arten von Schutzeinrichtungen realisiert werden: Thermoschalter oder Thermistoren.

Thermoschalter - eingebaut im Klemmenkasten

Thermoelemente oder Thermostate nutzen einen Bimetallscheiben-Schalter mit Schnappfunktion, um den Stromkreis zu öffnen oder schließen, wenn eine bestimmte Temperatur erreicht wird. Thermoschalter werden auch als Klixon bezeichnet. Dies ist der Handelsname der Firma Texas Instruments.

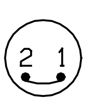
Erreicht die Bimetallscheibe eine vorgegebene Temperatur, öffnet oder schließt sie einen Satz Kontakte in einem spannungsbeaufschlagten Steuerkreis. Thermostate sind mit Schließer- oder Öffnerkontakt lieferbar. Derselbe Thermostat kann aber nicht beide Funktionen gleichzeitig aufweisen. Die Thermostate werden beim Hersteller kalibriert und können nicht eingestellt werden. Die Scheiben sind hermetisch abgedichtet und auf einer Klemmenleiste angeordnet.



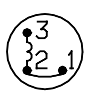
Einstufung eines mit einem Kaltleiter ausgerüsteten MG-Motors mit 3,0 kW in die Schutzklasse TP 211.



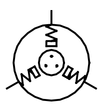
Einstufung eines mit einem Kaltleiter ausgerüsteten MMG-Motors mit 18,5 kW in die Schutzklasse TP 111.



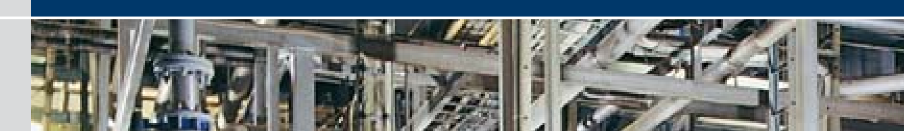
Thermoschalter ohne Heizelement



Thermoschalter mit Heizelement



Thermoschalter ohne Heizelement für Drehstrommotoren (Sternpunkt-Schutzschalter)



Integrierter Motorschutz

Ein Thermostat kann als Schließer entweder einen Alarmstromkreis mit Spannung beaufschlagen, oder als Öffner die Spannungsversorgung zum Motorschütz unterbrechen, wenn er in Reihe mit dem Schütz geschaltet ist. Weil Thermostate an der Außenseite der Spulenenden angeordnet sind, fühlen sie die Temperatur ganau an dieser Stelle. In Verbindung mit Drehstrommotoren bieten Thermostate jedoch nur einen unzureichenden Schutz gegen Blockieren oder andere sich schnell ändernde Temperarturzustände. Bei einphasigen Motoren schützen Thermostate aber auch im Fall von blockierten Rotoren ausreichend.

Thermoschalter
- eingebaut in die Wicklungen

Thermoschalter können auch in die Wicklungen eingebaut werden, siehe Abbildung auf der rechten Seite.

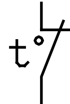
Sie arbeiten als Fühler mit Stromabschaltungsfunktion in Einphasen- und Drehstrommotoren. Bei einphasigen Motoren bis 1,1 kW kann der Thermoschalter direkt in den Hauptstromkreis eingebaut werden, wo er als Wicklungsschutz dient.

Klixon und Thermik sind Beispiele für ausgeführte Thermoschalter. Sie werden auch als PTO bezeichnet. PTO steht für „Protection Thermique à Ouverture“ und bedeutet frei übersetzt „Thermoschutz durch Öffnen“.

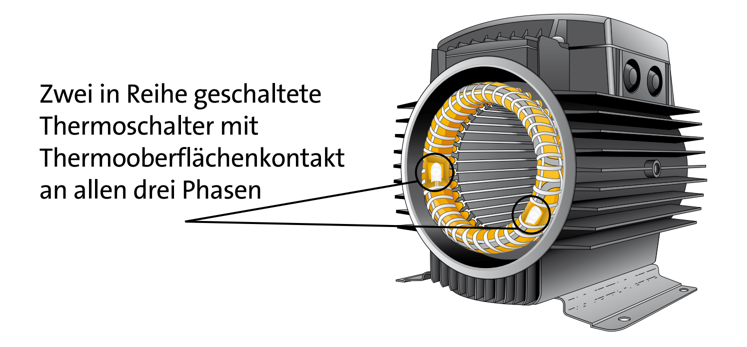
Nachträglicher Einbau

Bei einphasigen Motoren wird nur ein Thermoschalter eingesetzt. Bei Drehstrommotoren werden hingegen zwei in Reihe geschaltete Thermoschalter zwischen den Motorphasen angeordnet. Dadurch haben alle drei Phasen Kontakt zu einem Thermoschalter. Thermoschalter können an den Spulenenden auch nachgerüstet werden. Dies führt jedoch zu einer Erhöhung der Reaktionszeit. Die Thermoschalter sind an ein externes Überwachungssystem anzuschließen. Auf diese Weise ist der Motor gegen langsam auftretende Überlast geschützt. Die Thermoschalter benötigen kein Verstärkerrelais.

Thermoschalter bieten KEINEN Schutz gegen blockierte Rotoren.

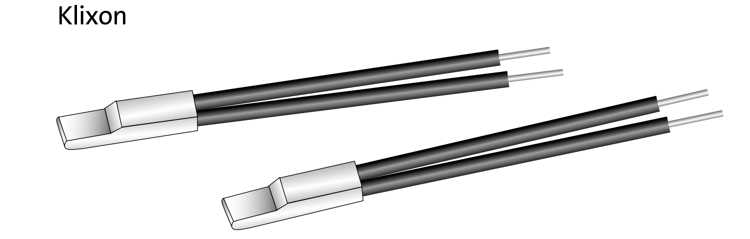


Thermoschutz, entweder mit der Wicklung in Reihe geschaltet oder an einen Stromkreis im Motor angeschlossen



In die Wicklungen eingebauter Thermoschutz

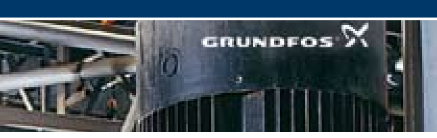
Klixon



Thermik - PTO



Strom- und temperaturempfindliche Thermoschalter



Funktionsprinzip eines Thermoschalters

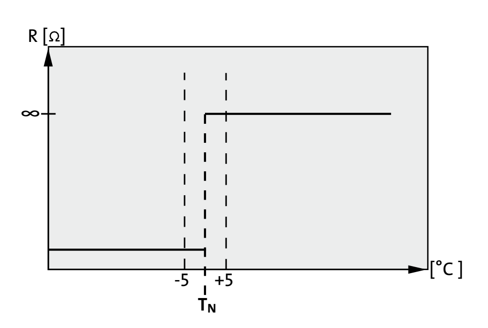
Das Diagramm auf der rechten Seite oben zeigt den Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur für einen typischen Thermoschalter. Je nach Hersteller variieren die Kurvenverläufe für die Temperaturschalter. T_N liegt in der Regel bei 150 - 160 °C.

Anschluss

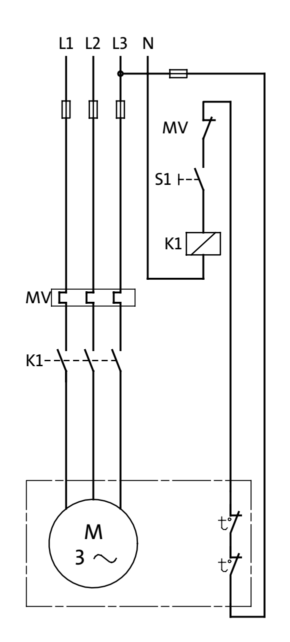
Den Anschluss eines Drehstrommotors mit integriertem Thermoschalter und Überlastrelais zeigt die untere Abbildung auf der rechten Seite.

TP-Kennzeichnung für das Schaltbild

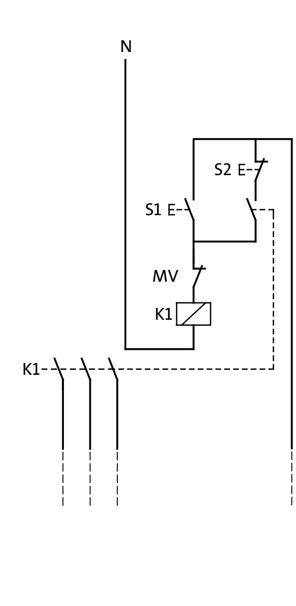
Schutz entsprechend der Norm IEC 60034-11: TP 111 (langsam auftretende Überlast). Zum Schutz gegen einen blockierten Rotor ist der Motor zusätzlich mit einem Überlastrelais auszurüsten.



Widerstand in Abhängigkeit der Temperatur für einen typischen Thermoschalter



Automatisches Wiederschließen



Manuelles Wiederschließen

S1	EIN/AUS-Schalter
S2	AUS-Schalter
K1	Schütz
t	Thermoschalter im Motor
M	Motor
MV	Überlastrelais

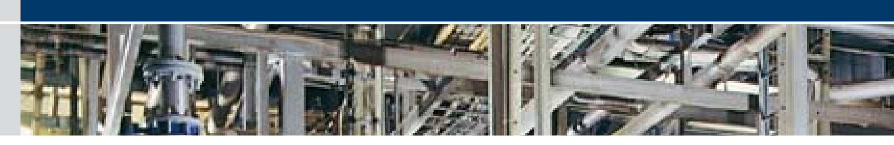
Thermoschalter können wie folgt belastet werden:

U_{max} = 250 V AC

I_N = 1,5 A

I_{max} = 5,0 A (Ein- und Ausschaltstrom)

Funktionsprinzip eines Thermoschalters



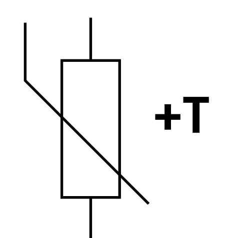
Thermistoren - eingebaut in die Wicklungen

Die zweite Kategorie des integrierten Motorschutzes bilden die Thermistoren oder PTC-Sensoren (PTC = Positive Temperature Coefficient, dt. = positiver Temperaturkoeffizient). Thermistoren werden in die Motorwicklungen eingebaut und schützen den Motor bei Blockieren des Rotors, permanenter Überlast und hohen Umgebungstemperaturen. Der Thermoschutz wird durch Überwachen der Temperatur in den Motorwicklungen mit Hilfe von PTC-Sensoren erreicht. Übersteigen die Temperaturen in den Wicklungen die Nennauslösetemperatur, erfolgt im Sensor eine schnelle Widerstandsänderung im Verhältnis zur Temperaturänderung.

Als Ergebnis dieser Änderung unterbrechen die integrierten Relais den Steuerkreis des externen Unterbrecherkontakts. Nach Abkühlen des Motors und wenn eine zulässige Motorwicklungstemperatur wieder erreicht worden ist, sinkt der Sensorwiderstand auf das Zurücksetz-Niveau. An diesem Punkt erfolgt automatisch ein selbsttätiges Zurücksetzen des Moduls, es sei denn, das Modul ist auf manuelles Zurücksetzen eingestellt.

Werden die Thermistoren an den Spulenenden nachgerüstet, können die Thermistoren nur unter TP 111 eingestuft werden. Der Grund dafür ist, dass die Thermistoren keinen vollständigen Kontakt zu den Spulenenden haben und deshalb nicht so schnell reagieren können wie ab Werk in die Wicklungen eingesetzte Thermistoren.

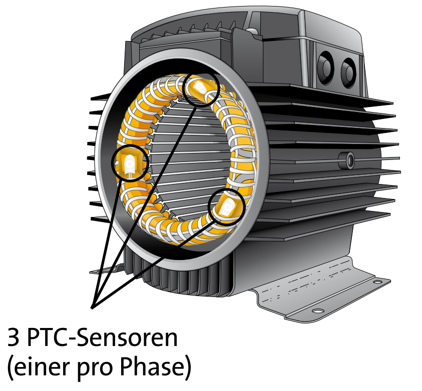
Das komplette System der Thermistor-Temperaturfühler besteht aus drei in Serie eingebettete PTC-Sensoren - einen zwischen jeder Phase - und einem zugehörigen, kontaktlosen Elektronikschalter in einem gekapselten Steuermodul. Zu einem Sensorsatz gehören drei Sensoren und zwar einer pro Phase. Der Widerstand im Sensor bleibt über einen großen Temperaturbereich relativ gering und konstant. Bei einer vorgegebenen Temperatur oder einem bestimmten Auslösepunkt steigt er jedoch schlagartig an. Dann arbeitet der Sensor als kontaktloser Thermoschalter, der den Strom zu einem Hauptrelais unterbricht. Das Relais öffnet den Steuerkreis der Maschine, um das zu schützende Gerät abzuschalten. Sinkt die Wicklungstemperatur wieder



Thermistor / PTC (Kaltleiter). Ausschließlich temperaturempfindlich. Der Thermistor ist an einen Steuerkreis anzuschließen, der die Widerstandänderung in ein Steuersignal umwandeln kann, mit dem die Netzversorgung zum Motor unterbrochen werden kann. Verwendung bei Drehstrommotoren.



PTC-Sensoren



Schutz durch in die Wicklungen integrierte PTC-Sensoren

Ansprechnenn-temperatur T_{NF} [°C]	145	150	155	160	165	170
Farbkennzeichnung der Leiter	weiß	schwarz	blau	blau	blau	weiß
	schwarz	schwarz	schwarz	rot	braun	grün

Die Farben an den PTC-Leitern geben Aufschluss über die Auslösetemperatur der PTC-Sensoren. Der in der Tabelle rot umrandete PTC-Sensor hat z.B. eine T_{NF} von 160 °C. PTC-Sensoren gibt es mit Auslösetemperaturen von 90 °C bis 180 °C in Temperaturabständen von 5 Grad.



auf einen zulässigen Wert, ermöglicht das Modul ein manuelles Zurücksetzen.

Thermistoren sind standardmäßig in allen Grundfos Motoren ab 3 kW eingebaut.

Der Motorschutz über PTC-Thermistoren wird als fehlersicher angesehen, weil bei einem beschädigten Sensor oder einem gebrochenen Sensorleiter ein unendlich großer Widerstand auftritt, durch den die Spannungsversorgung zum Hauptrelais wie bei einem übermäßigen Temperaturanstieg unterbrochen wird.

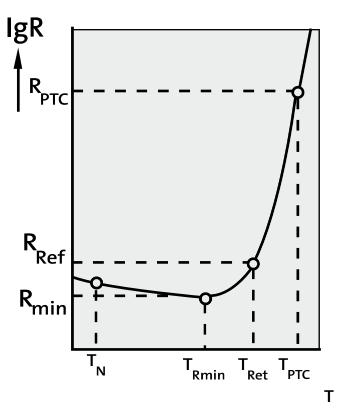
Funktionsprinzip eines Thermistors

Die wichtigsten Parameter zum Widerstands-/ Temperaturverhalten von für den Motorschutz bestimmte Sensoren sind in der DIN 44081 und DIN 44082 definiert.

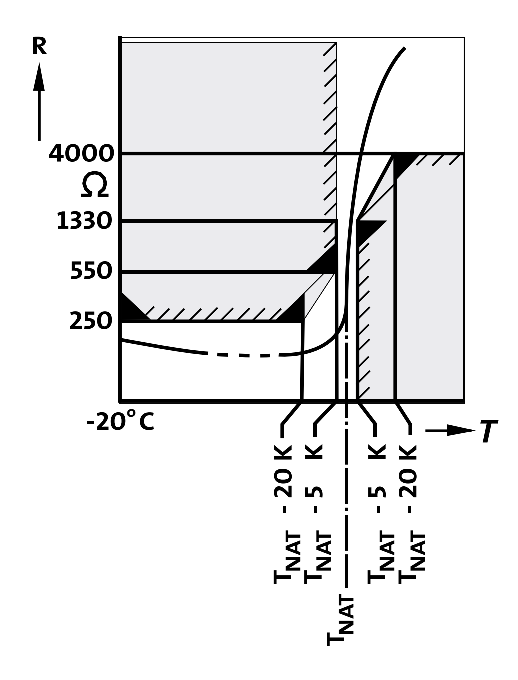
Die aus der DIN entnommene Kurve auf der rechten Seite zeigt den Widerstand eines Thermistorsensors in Abhängigkeit der Temperatur.

Der Thermistor bietet im Vergleich zum PTO-Thermoschalter folgende Vorteile:

- Schnellere Reaktion durch kleines Bauvolumen und kleine Abmessungen
- Besserer Kontakt zur Wicklung
- Sensoren für jede Phase
- Bietet Schutz auch bei blockiertem Rotor



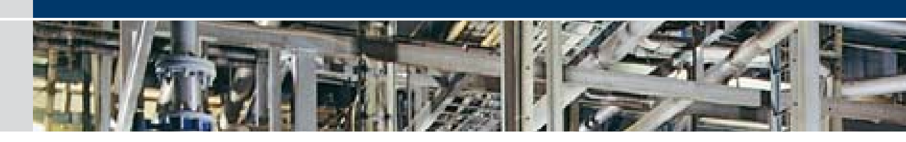
Typisches Widerstands-/Temperaturverhalten eines Kaltleiters nach DIN 44081/DIN 44082



Wichtige Grenzwerte für das Widerstands-/ Temperaturverhalten von für den Motorschutz eingesetzte Sensoren.

T_{NAT} = Auslösetemperatur des Thermistors

Die Kurven gelten für eine Thermistoreinheit.
Für den Motor-PTC müssen die Werte mit dem Faktor 3 multipliziert werden.



TP-Kennzeichnung

Der Motorschutz TP 211 kann nur erreicht werden, wenn der PTC-Sensor (Kaltleiter) vollständig mit dem Spulenende verbunden ist. Bei einer Nachrüstung kann nur der Schutzgrad TP 111 erzielt werden. Der Motor muss vom Hersteller geprüft und abgenommen werden, um die Kennzeichnung TP 211 tragen zu dürfen. Verfügt ein Motor mit PTC-Thermistoren nur über den Schutzgrad TP 111, ist er an ein Überlastrelais anzuschließen, um gegen Blockieren geschützt sein.

Anschluss

Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen den Anschluss eines Drehstrommotors mit PTC-Sensoren und Siemens Auslösegerät. Um einen ausreichenden Schutz gegen schnell und langsam auftretende Überlast zu erreichen, wird für Motoren mit PTC-Sensor je nach Schutzgrad die nachfolgend beschriebene Anschlussweise empfohlen.

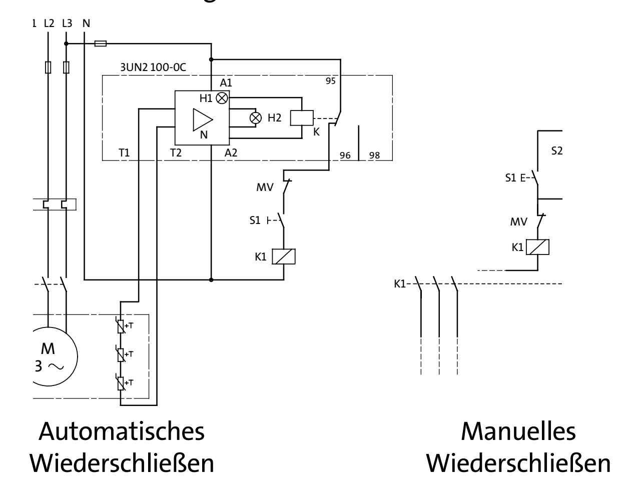
Motoren mit Schutzgrad TP 111

Ist der mit einem Thermistor ausgestattete Motor mit dem Schutzgrad TP 111 gekennzeichnet, ist der Motor nur gegen langsam auftretende Überlast geschützt. Um den Motor auch gegen schnell auftretende Überlast zu schützen, muss der Motor mit einem Überlastrelais ausgestattet werden. Das Überlastrelais muss dann in Reihe zum PTC-Relais angeschlossen werden.

Motoren mit Schutzgrad TP 211

Der Motorschutz TP 211 kann nur erreicht werden, wenn der PTC-Sensor (Kaltleiter) vollständig mit dem Spulenende verbunden ist. Bei einer Nachrüstung kann nur der Schutzgrad TP 111 erzielt werden.
Die Thermistoren sind entsprechend der Norm DIN 44082 ausgeführt und können mit U_{max} = 2,5 V belastet werden. Alle Auslösegeräte sind so ausgelegt, dass sie Signale von Thermistoren empfangen können, die nach der DIN 44082 ausgeführt sind, wie z.B. Thermistoren der Fa. Siemens.
ACHTUNG: Das eingebaute PTC-Gerät muss in Reihe mit dem Überlastrelais angeschlossen werden. Das wiederholte Wiederschließen eines Überlastrelais kann zum Durchbrennen der Wicklungen führen, wenn der Motor blockiert ist oder in Verbindung mit einer hohen Massenträgheit anläuft. Deshalb müssen beide - das PTC-Gerät und das Überlastrelais - erkennen, dass

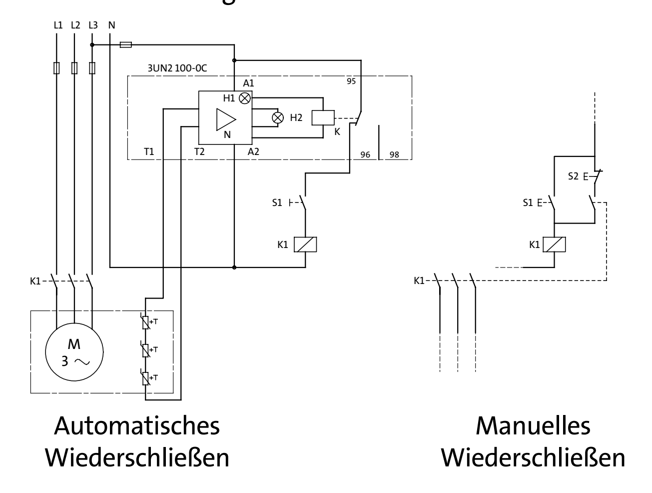
Motoren mit Schutzgrad TP 111



Automatisches Wiederschließen

Manuelles Wiederschließen

Motoren mit Schutzgrad TP 211



Automatisches Wiederschließen

Manuelles Wiederschließen

S1	EIN/AUS-Schalter
K1	Schütz
t	Thermistor im Motor
M	Motor
MV	Motorüberlastrelais

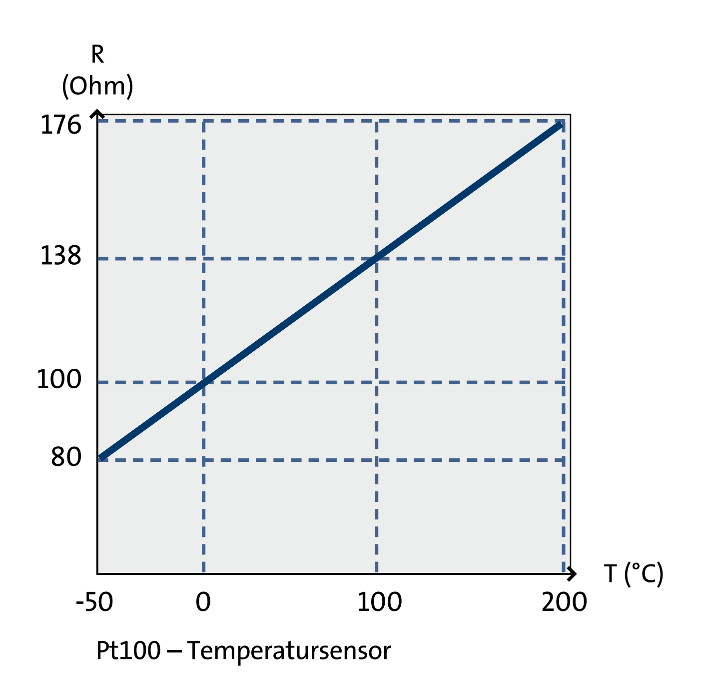
3UN2 100-0C Auslösegerät mit automatischem Wiederschließen:

A	Verstärkerrelais
C	Ausgangsrelais
H1	LED “bereit”
H2	LED “ausgelöst”
A1, A2	Anschluss für Steuerspannung
T1, T2	Anschluss für Thermistorkreis

die Temperatur und der Stromverbrauch normal sind. Dies ist gewährleistet, wenn beide Geräte in Reihe geschaltet sind.

Pt100 – Temperatursensor

Das Pt100 ist eine Schutzeinrichtung. Es verändert seinen Widerstand linear in Abhängigkeit der Temperaturänderung. Das Signal von einem Pt100-Temperatursensor kann zur Regelung durch einen Mikroprozessor genutzt werden, um die genaue Wicklungstemperatur zu ermitteln. Es kann aber auch zur Überwachung der Lagertemperaturen verwendet werden.



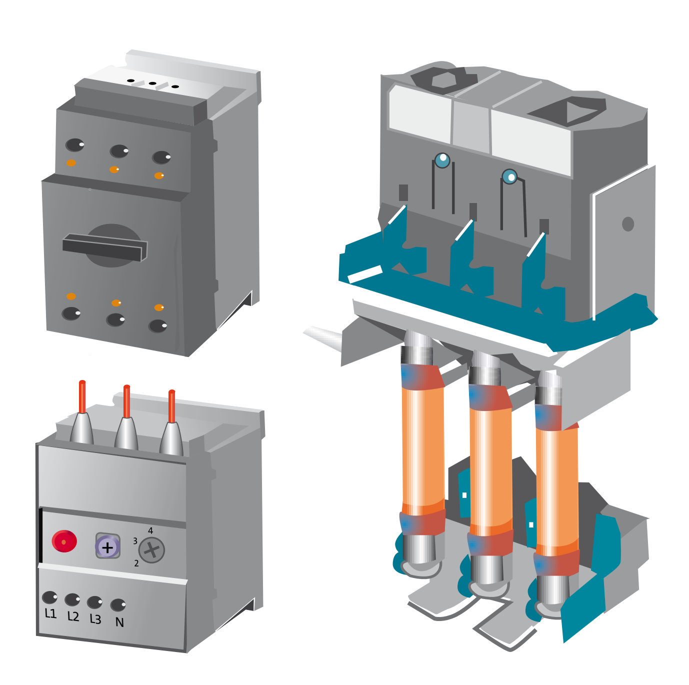
Pt100 – Temperatursensor

Zusammenfassung Motorschutzeinrichtungen

Es gibt mehrere Verfahren, einen Motor vor Überhitzung zu schützen. Im Folgenden werden die wichtigsten Geräte und ihre Eigenschaften zusammengefasst.

Externe Schutzeinrichtungen

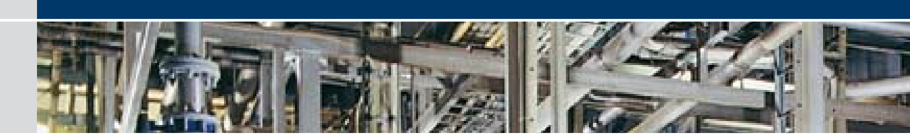
Externe Schutzeinrichtungen, wie z.B. Sicherungen, Motorschutzgeräte sowie temperatur- und stromabhängige Überlastrelais reagieren auf den vom Motor gezogenen Strom. Sie werden so eingestellt, dass sie den Motor abschalten, wenn der Strom den Nennstrom übersteigt. Dennoch könnte der Motor überhitzen, ohne dass eine Störung bemerkt wird, z.B. wenn die Löcher der Lüfterabdeckung durch eine Plastiktüte abgedeckt werden oder die Umgebungstemperatur auf einen zu hohen Wert angestiegen ist. In diesen Fällen steigt zwar der Strom nicht an, aber die Temperatur. Externe Schutzeinrichtugen schützen somit nur gegen ein Blockieren des Rotors.



Externer Motorschutz

Integrierte Schutzeinrichtungen

Interne Schutzeinrichtungen, wie z.B. Thermistoren, sind sehr viel effizienter als externe Schutzeinrichtungen, weil sie die tatsächliche Wicklungstemperatur messen. Die beiden am häufigsten eingesetzten integrierten Schutzeinrichtungen sind PTC-Thermistoren und PTO-Thermoschalter.



Zusammenfassung Motorschutzeinrichtungen

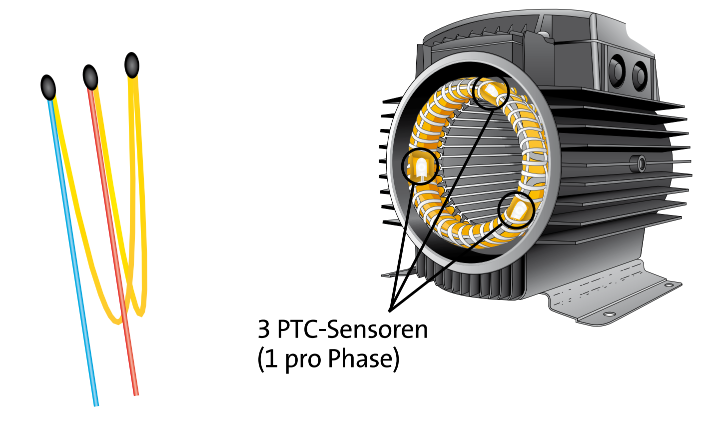
PTC-Thermistoren (Kaltleiter)

PTC-Thermistoren können entweder bei der Herstellung des Motors oder nachträglich in die Wicklungen eingebaut werden. In der Regel werden drei PTC-Thermistoren in Reihe angeordnet, und zwar einer pro Phase. Sie sind mit Auslösetemperaturen lieferbar, die in 5°-Schritten von 90 °C bis 180 °C reichen. PTC-Thermistoren sind an ein Thermistorrelais anzuschließen, das den schnellen Anstieg des Widerstands im Thermistor erkennt, wenn er seine Ausösetemperatur erreicht. Diese Schutzeinrichtungen arbeiten nicht linear. Bei Umgebungstemperatur beträgt der Widerstand eines aus 3 Thermistoren bestehenden Satzes 200 Ohm. Der Widerstand steigt dann kurz vor dem Erreichen der Auslöstemperatur schnell auf 3000 Ohm (1000 Ohm pro Thermistor) an. Steigt die Temperatur weiter an, kann der Widerstand im Thermistor sogar mehrere tausend Ohm erreichen. Die Thermistorrelais werden in der Regel so eingestellt, dass sie bei 3000 Ohm oder bei einem Widerstand auslösen, der in der Norm DIN 44082 vorgegeben ist.



Thermoschalter und Thermostate

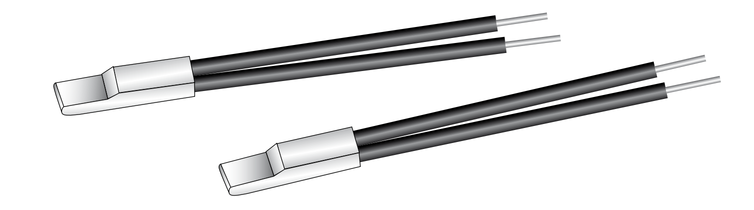
Thermoschalter sind kleine Bimetallschalter, die in Abhängigkeit der Temperatur schalten. Sie sind für einen weiten Auslösetemperaturbereich und als Schließer oder Öffner lieferbar. Am häufigsten wird der Thermoschalter als Öffner eingesetzt. Dabei sind ein und oder zwei in Reihe geschaltete Thermoschalter genauso wie Thermistoren in die Wicklungen eingebaut. Sie können direkt an den Stromkreis für die Spule des Hauptschützes angeschlossen werden. In diesem Fall ist dann kein Relais erforderlich. Diese Art des Motorschutzes ist kostengünstiger als durch Thermistoren. Thermoschalter sind jedoch weniger empfindlich und können nicht erkennen, wenn ein Rotor blockiert.



PTC-Sensoren

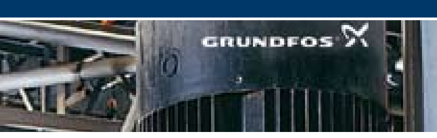
Schutz durch in die Wicklungen integrierte PTC-Sensoren

Klixon





Strom- und temperaturempfindliche Thermoschalter

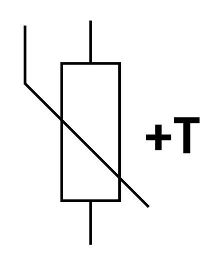


Welchen Motorschutz bietet Grundfos an?

Alle einphasigen Grundfos Motoren und alle Grundfos Drehstrommotoren ab 3 kW haben einen integrierten Thermoschutz. In über Kaltleiter geschützte Motoren sind drei PTC-Sensoren (einer pro Phase) eingebaut. Dadurch ist der Motor hauptsächlich gegen langsam ansteigende Temperaturen im Innern geschützt. Aber auch der Schutz gegen schnell ansteigende Temperaturen ist gewährleistet. Je nach Motorbauart und Anwendung kann der Thermoschutz auch für andere Zwecke eingesetzt werden, wie z.B. um einen auf dem Motor angeordneten Regler vor schädlichen Temperatureinflüssen zu schützen.

Wenn der Pumpenmotor gegen alle vorhersehbaren Situationen geschützt werden soll, muss er sowohl mit einem Überlastrelais, als auch mit einer PTC-Schutzeinrichtung geschützt werden, wenn er nicht über den Schutzgrad TP 211 verfügt. Das Überlastrelais und der Kaltleiter müssen in Reihe geschaltet werden, damit der Motor nicht neu startet, bevor beide Schutzeinrichtungen wieder bereit sind. Auf diese Weise wird der Motor nicht überlastet und nicht überhitzt.

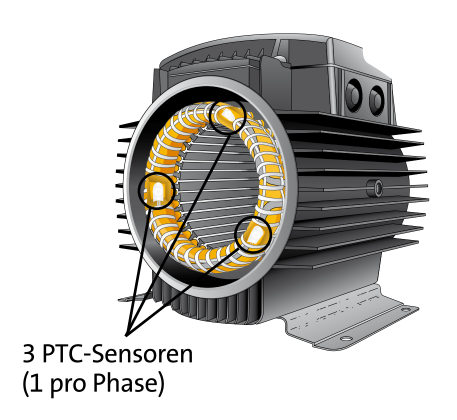
Es wird empfohlen die Thermistoren zu verwenden, mit denen der Motor standardmäßig ausgerüstet ist. Die für die Installation zuständige Elektrofachkraft muss bauseits ein PTC-Relais vorsehen, das der Norm DIN 44082 entspricht. Auf diese Weise können bei 3-kW-Motoren die eingebauten Thermistoren als Standardschutzeinrichtung genutzt werden.



Thermistor/PTC(Kaltleiter).Ausschließlich temperaturempfindlich. Der Thermistor ist an einen Steuerkreis anzuschließen, der die Widerstandänderung in ein Steuersignal umwandeln kann, mit dem die Netzversorgung zum Motor unterbrochen werden kann. Verwendung bei Drehstrommotoren.



PTC-Sensoren



Schutz durch in die Wicklungen integrierte PTC-Sensoren


GRUNDFOS
GRUNDFOS

7. Motorlager



Aufgabe der Motorlager

Die Hauptaufaufgabe der Motorlager besteht in der Reduzierung der Reibung und des Verschleißes zwischen den drehenden und feststehenden Bauteilen des Motors. Darüberhinaus sorgen die Motorlager für eine relativ steife Abstützung der Abtriebswelle.

Es gibt grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Lagern: Wälz- und Gleitlager. Die Gruppe der Wälzlager lässt sich nach der Form der Wälzkörper weiter unterteilen, z.B. in Rollenlager, Kugellager, Nadellager.

Gleit- und Nadellager

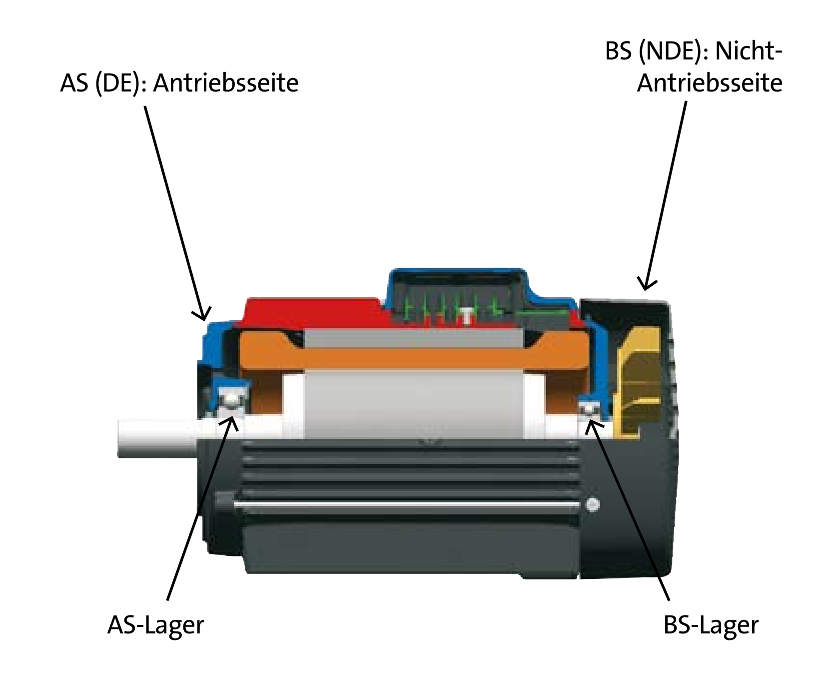
Gleit- und Nadellager werden überwiegend in Motoren für Elektro-Haushaltsgeräte eingesetzt und hier vor allem in Lüfteranwendungen, bei denen es auf einen geringen Geräuschpegel ankommt. Hierzu zählen z.B. Haartrockner.

Kugellager

Kugellager werden in fast allen Arten und Baugrößen von Elektromotoren eingebaut, die in industriellen oder landwirtschaftlichen Anwendungen eingesetzt werden. Hierzu zählen auch die Pumpenmotoren. Sie kommen manchmal aber auch in Verbindung mit leistungsstarken Motoren zum Einsatz, bei denen die Welle einer hohen Belastung ausgesetzt ist. Für diese Anwendung ist eine hohe Lagertragfähigkeit gefordert. Die wichtigsten Eigenschaften von Kugellagern sind:

- Sie sind in einem weiten Temperaturbereich einsetzbar.
- Sie sind für hohe Drehzahlen geeignet.
- Die Reibungsverluste sind gering.

Es gibt verschiedene Arten von Kugel- und Rollenlagern: offene Kugellager, einseitig abgedeckte Kugellager, und vollständig abgedichtete Kugellager.

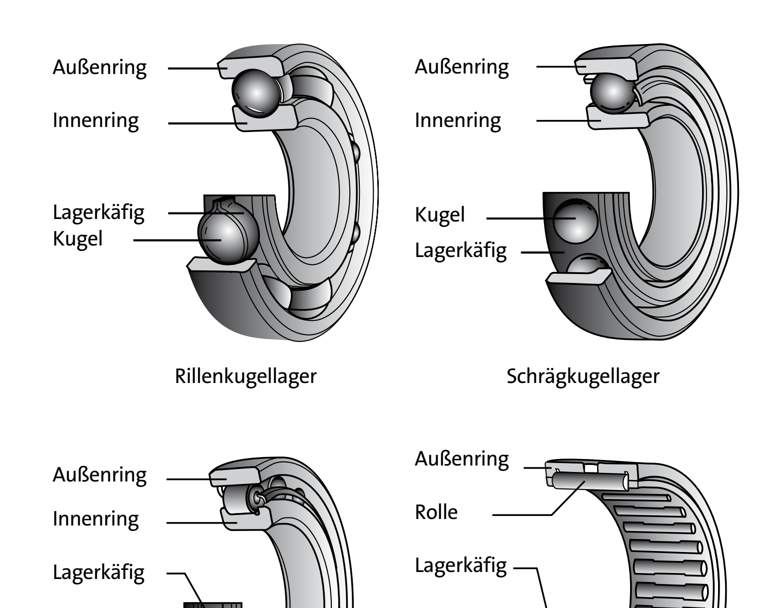




Rollenlager

Die meisten Wälzlager bestehen aus den gleichen drei Hauptkomponenten: Ringen mit Laufrillen (ein Innenring und ein Außenring), den Wälzkörpern (Kugeln oder Rollen) und einem Käfig für die Aufnahme der Wälzkörper. Der Käfig hat mehrere Aufgaben, z.B. Anordnen der Wälzkörper zwischen dem Innen- und Außenring mit festem Abstand zueinander, die Wälzkörper gegen Herausfallen sichern, Ermöglichen einer ungestörten Rotation der Wälzkörper und Verhindern, dass sich die Wälzkörper gegenseitig berühren.

Es wird zwischen zwei Arten von Wälzkörpern unterschieden: Kugeln und Rollen. Die Laufrillen des Innen- und Außenrings werden bei Kugeln punktförmig und bei Rollen linienförmig beansprucht. Rollenlager gibt es grundsätzlich in vier Ausführungen: Nadellager, Kegelrollenlager, Zylinderrollenlager, Tonnenlager. Der Aufbau der Rollenlager ermöglicht das Abrollen der Wälzkörper an den Laufflächen und gleichzeitig die Rotation der Rollen um die eigene Achse. Die Wälzkörper und die Laufflächen nehmen die gesamte Belastung auf, die auf die Lager übertragen wird.

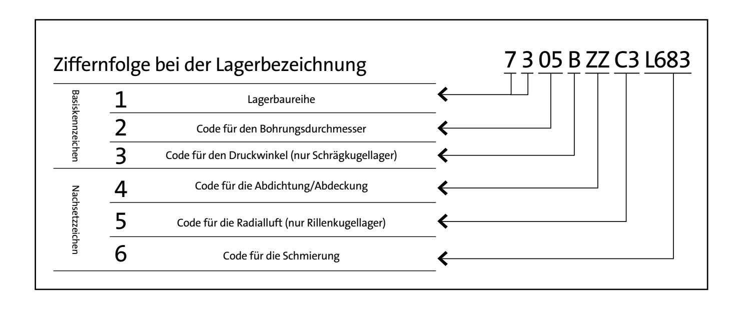


Verschiedene Arten von Kugel- und Rollenlagern

Lagerbezeichnungen/Codes

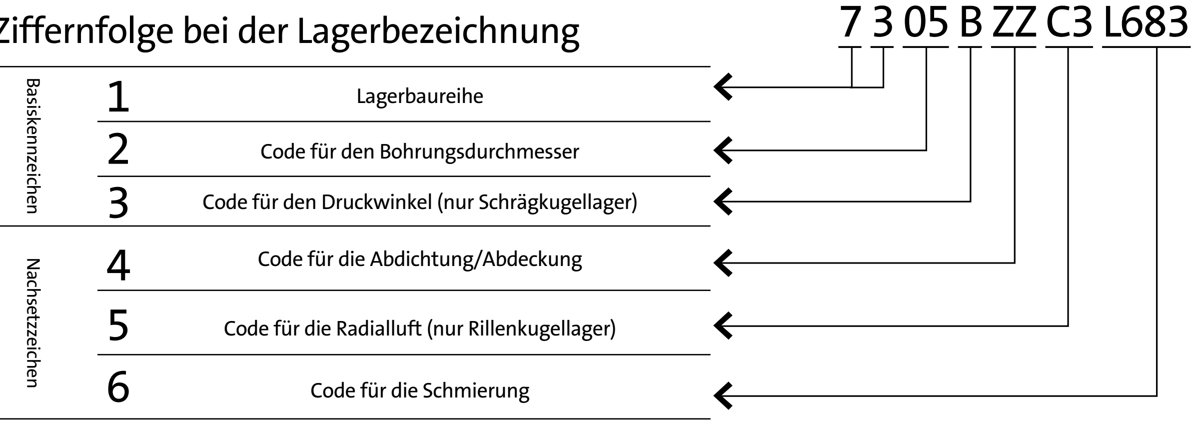
Die Lager werden mit Hilfe eines Zahlencodes gekennzeichnet, der als sprechender Schlüsel Aufschluss über einige wichtige Faktoren gibt, wie z.B. Abmessungen, Bauart, Innenaufbau, Genauigkeit, Abdichtung, usw. Der Zahlencode wird durch mehrere Buchstaben- und Zeichencodes ergänzt. Die vollständige Kennzeichnung besteht somit in der Regel aus drei Hauptcodes: einem aus Zahlen bestehenden Basiskennzeichen und zwei weiteren Codes. Die Reihenfolge und Bedeutung dieser Codes sind in den Tabellen auf der nächsten Seite beschrieben. Das Basiskennzeichen enthält allgemeine Informationen zur Lagerbauart, den Hauptabmessungen, usw. Zusätzlich informiert es über den Druckwinkel, den Bohrungsdurchmesser und die Lagerreihe. Auch diese Angaben erfolgen mit Hilfe eines Codes.

Die beiden zusätzlichen Codes werden aus Vorsetzzeichen und Nachsetzzeichen gebildet. Diese beiden Codes liefern Informationen über die inneren Spaltmaße, Lagergenauigkeit und eine Reihe anderer Faktoren, die sich auf den inneren Aufbau und die Lagerausführung beziehen.



Lagerbezeichnungen/Codes

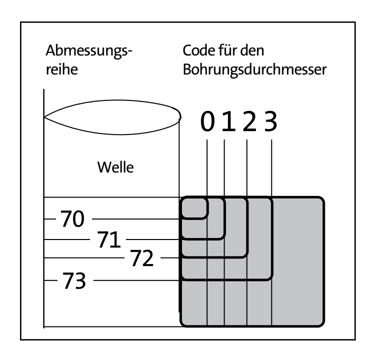
Ziffernfolge bei der Lagerbezeichnung



Basiskennzeichen	1	Lagerbaureihe
	2	Code für den Bohrungsdurchmesser
	3	Code für den Druckwinkel (nur Schrägkugellager)
Nachsetzzeichen	4	Code für die Abdichtung/Abdeckung
	5	Code für die Radialluft (nur Rillenkugellager)
	6	Code für die Schmierung

1 Code für die Lagerbaureihe

Lager-baureihe	Baurei-henzeichen	Abmessungsreihe		Lagerbauart
		Breiten-reihe	Durch-messerreihe	
60 62 63	6	(1) (0) (0)	0 2 3	Rillenkugellager
70 72 73	7	(1) (0) (0)	0 2 3	Schräg-kugellager
NU10 NU2 NU22 NU3 NU23 NU4	NU	1 (0) 2 (0) 2 (0)	0 2 2 3 3 4	Zylinder-rollenlager



2 Code für den Bohrungsdurchmesser

Code für den Bohrungs-durchmesser	Bohrungs-durchmesser d in mm	Bemerkung
04 05 06 ⋮ 88 92 96	20 25 3 ⋮ 440 460 480	Die aus zwei Ziffern bestehende Zahl für den Bohrungsdurchmesser ergibt sich aus dem Bohrungsdurchmesser geteilt durch 5. Um den Bohrungsdurchmesser in mm zu erhalten, muss somit der zweistellige Zahlencode mit 5 multipliziert werden. Beispiel: 7305 => 05 x 5 = 25 Bohrungsdurchmesser des Lagers = 25

3 Code für den Druckwinkel

Code	Nenndruckwinkel	Lagerbauart
A B C	Standard = 30° Standard = 40° Standard = 15°	Schrägkugellager

4 Code für die Abdichtung/Abdeckung

Code	Beschreibung
LLB	Synthetische Gummidichtung (berührungslos)
LLU	Synthetische Gummidichtung (berührend)
ZZ	Abdeckung
ZZA	Abnehmbare Abdeckung

5 Code für die Radialluft

Code	Erläuterung
C2	Innere Radialluft kleiner als normal
C3	Innere Radialluft größer als normal
C4	Innere Radialluft größer als C3

6 Code für die Schmierung

Siehe Katalog der Lagerhersteller Beispiel: L683 = NTN-Code für Klüberquiet BQH 72-102

Hersteller und Hauptabmessungen

Grundfos Motoren sind mit Qualitätslagern der folgenden Hersteller ausgestattet:
SKF
NSK
NTN
FAG (INA)

Aus Preis- und Qualitätsgründen und um den Austausch zu erleichtern, sind die Hersteller und Bezieher von Rollenlagern daran interessiert, die Anzahl der Lagergrößen zu begrenzen. Die internationale Organisation für Normung (ISO) hat deshalb Tabellen mit Abmessungsreihen erarbeitet, in denen die Hauptabmessungen für metrische Wälzlager definiert sind.

Die Hauptabmessungen und Toleranzen sind von der internationalen Organisation für Normung in den Normen ISO 15 und ISO 492 festgelegt worden.

Hauptabmessungen von Radiallagern

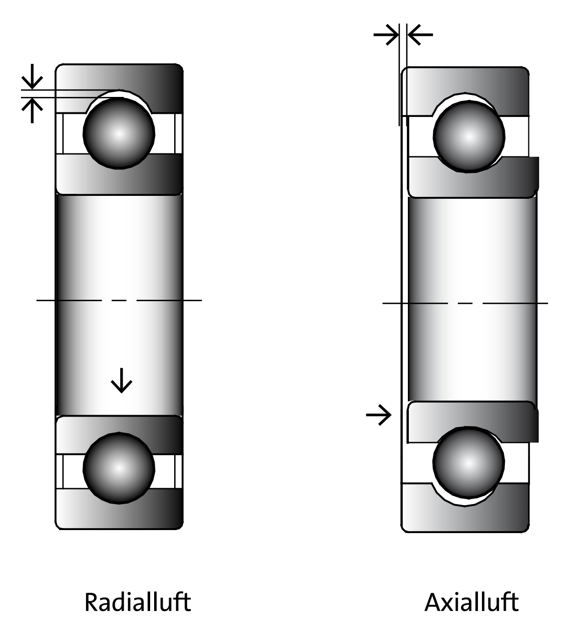
Lagerluft

Der Außen- oder Innenring eines Lagers ist beweglich, auch wenn einer oder beide Lagerringe fest eingebaut sind. Die Lagerluft beschreibt den Grad der inneren Bewegung, den das Lager zulässt. Es gibt zwei Arten von Lagerluft: die innere Radialluft und die innere Axialluft.

Der Grad der Bewegung des Lagerrings in radialer Richtung wird als innere Radialluft und der Grad der Bewegung in axialer Richtung als innere Axialluft bezeichnet. In der Regel ist die Axialluft 6 bis 10 mal größer als die Radialluft.

Der amerikanische Verband der Lagerhersteller (American Bearing Manufacturers Association = ABMA) und die ISO haben die Radialluft von Rillenkugellagern in Klassen eingeteilt. Danach gibt es fünf Radialluftklassen: C2, CN (normale Lagerluft), C3, C4 und C5.
C2 ist die kleinste und C5 die größte zulässige Radialluft im Verhältnis zum Innendurchmesser des Lagers.

Die Radialluft beschreibt den Spalt zwischen der obersten Kugel und der äußeren Laufrille.



Radialluft Axialluft

Lagerluft



Auswählen der richtigen Lagerluft

Die Anfangslagerluft ist das Spaltmaß, mit dem das Lager hergestellt worden ist. Die Betriebslagerluft ist das Spaltmaß, dass das Lager nach dem Einbau und während des Betriebs besitzt. Um die Lebensdauer zu verlängern, sollte das Lager bei normalen Betriebstemperaturen eine leicht negative Lagerluft aufweisen.

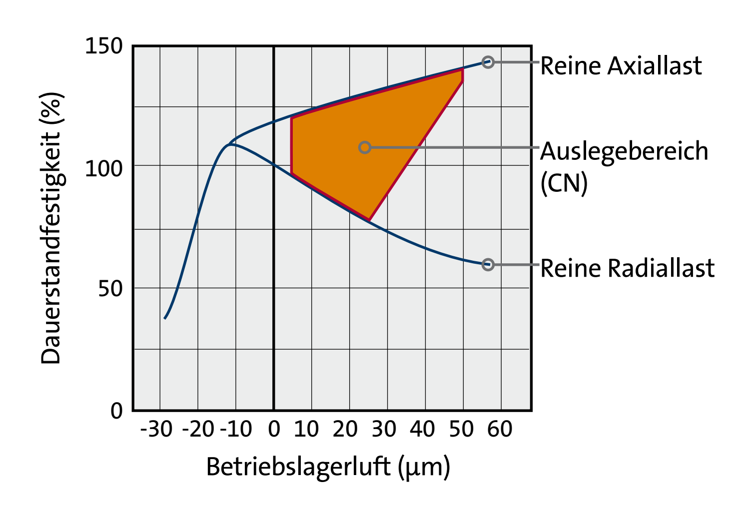
Dennoch ist es schwierig auch bei normalen Betriebsbedingungen die Toleranzwerte immer im optimalen Bereich zu halten. So kann durch eine Veränderung der Betriebsbedingungen der negati-ve Luftspalt noch weiter reduziert werden, so dass die Lebensdauer des Lagers aufgrund überhöhter Temperaturen sinkt.

Werden Rillenkugellager hauptsächlich axial belastet, ist es sogar von Vorteil, die Betriebslagerluft wie auf der nächsten Seite beschrieben weiter zu erhöhen.

Die Betriebslagerluft sollte deshalb etwas größer gewählt werden. Die Radialluft sollte somit etwas über einen leicht negativen Wert liegen. Dies gilt für normale Betriebsbedingungen (d.h. normale Belastung, Passung, Drehzahl und Temperatur). Eine Betriebslagerluft, die der Klasse CN entspricht, ist ein guter Kompromiss in Bezug auf die Lagerlebensdauer.

Auswählen der richtigen Anfangslagerluft

Die Anfangslagerluft ist das tatsächliche Spaltmaß des Lagers vor dem Einbau bei der Auslieferung. Sie wird z.B. angegeben als C3 or C4. Die Betriebslagerluft hingegen ist das Spaltmaß, dass das Lager nach dem Einbau und während des Betriebs unter Temperatureinfluss besitzt. Sie hat Einfluss auf das Geräuschverhalten, die Dauerstandfestigkeit und die Erwärmung des Lagers.



Grundlegender Zusammenhang zwischen der Betriebslagerluft und der Lebensdauer von Rillenkugellagern



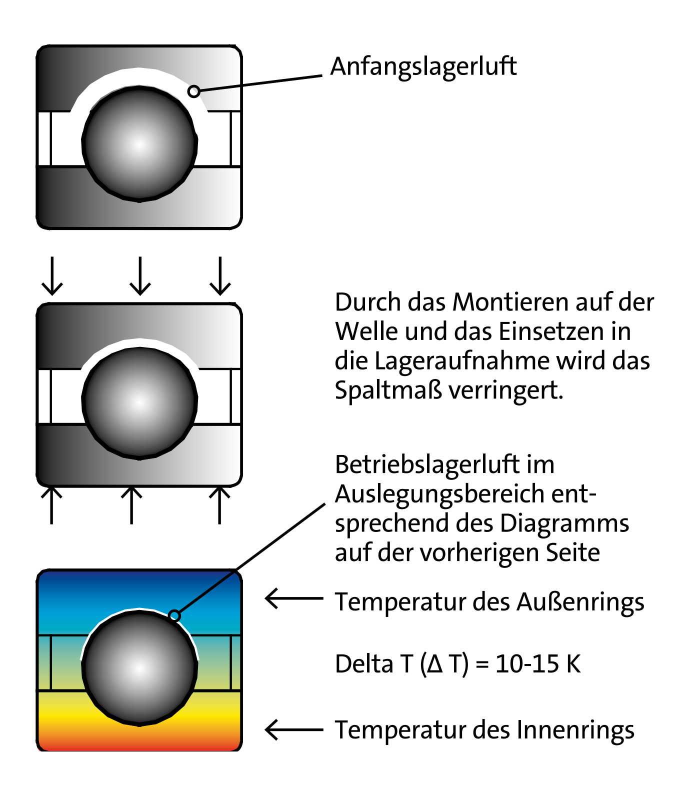
Lagerluft

Die Lebensdauer eines Lagers ist abhängig von der Lagerluft. Ist der Wert leicht negativ, so steigt die Lebensdauer. Liegt die Betriebslagerluft jedoch unterhalb eines bestimmten Wertes, verkürzt sich die Lebensdauer erheblich. Deshalb ist die Anfangslagerluft so zu wählen, dass sich eine leicht positive Betriebslagerluft einstellt.

Neben der Lagerluft sind auch die Einbauabmessungen zu berücksichtigen, die zu einer Presspassung zwischen Lager und Welle führen können. Zudem ist die im Betrieb auftretende Temperaturdifferenz zwischen dem Innen- und Außenring zu beachten. Im Allgemeinen beträgt diese Temperaturdifferenz 10-15 K. Sie entsteht dadurch, dass die Verluste im Rotor in Wärme umgewandelt werden, die dann über die Lager und die Welle abgeführt wird.

Wegen der engen Passung und der zu erwartenden Temperaturdifferenz werden in Wechselstrommotoren in der Regel Lager mit der Lagerluftklasse C3 eingesetzt. Bei Pumpenmotoren werden jedoch auf der Antriebsseite häufig Lager mit der Lagerluftklasse C4 eingebaut. Der Grund dafür ist, dass Lager mit C4-Radialluft eine höhere Axiallast aufnehmen können als C3-Lager. C4-Lager haben somit eine höhere Lebensdauer in Anwendungen, bei denen hautpsächlich Axialkräfte auftreten. Hierzu zählen z.B. kleine mehrstufige Pumpen oder einstufige Pumpen, die über keine Axialschubentlastung verfügen.

Bei einem Austauch der Lager ist darauf zu achten, dass das neue Lager dieselbe Radialluftklasse besitzt wie das alte. Ist der Motor mit C3-Lagern ausgestattet und wird beim Austausch ein C4-Lager eingesetzt, besteht die Gefahr einer erhöhten Geräuschbildung. Ist der Motor hingegen mit C4-Lagern ausgestattet und wird dieses Lager durch ein C3-Lager ersetzt, kann sich die Lebensdauer verkürzen. Ein solcher Austauch ist deshalb nicht zu empfehlen.



Im Allgemeinen beträgt die Temperaturdifferenz 10-15 K. Durch die Temperaturdifferenz wird das Spaltmaß verringert, weil der Innenring sich weiter ausdehnt als der Außenring.



Lager in Wechselstrommotoren für den Antrieb von Pumpen

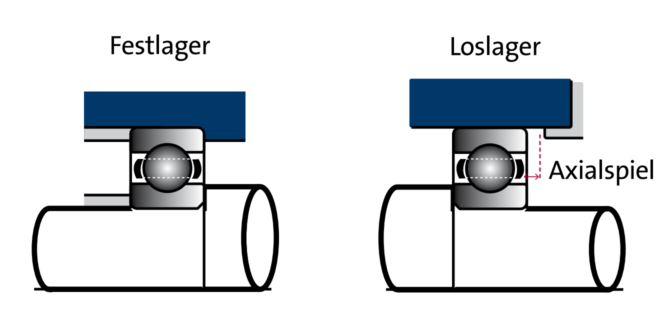
In Standardmotoren, die für den Antrieb von Pumpen bestimmt sind, werden hauptsächlich Kugellager eingesetzt. Zu den gebräuchlichsten Lagern innerhalb dieser Lagerbauart zählen Rillenkugellager und Schrägkugellager. Diese Lager sind in der Lage, den Belastungen standzuhalten, denen Motorlager in der Regel ausgesetzt sind.

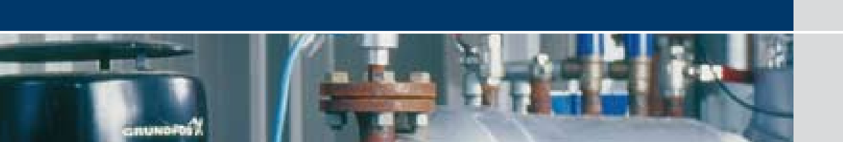
Eigenschaften der beiden Lagerbauarten	Rillenkugellager	Schrägkugellager
Ausführung ohne Abdichtung		
Preis	Index 100	Index 160-260
Radiale Traglast	Index 100	Index 100
Axiale Traglast	Index 100	Index 300
Zulässige Axialkrafteinleitung	In beide Richtungen	Nur in eine Richtung

Eigenschaften von Rillenkugellagern und Schrägkugellagern

Die Lagerkonstruktion der Grundfos Pumpenmotoren besteht in der Regel aus einem Festlager auf der Antriebsseite und einem Loslager mit Axialspiel auf der Nicht-Antriebsseite. Das Axialspiel dient zum Ausgleichen der Wärmeausdehnung während des Betriebs, von Fertigungstoleranzen, usw.

Lageranordnung





Lager in Wechselstrommotoren für Pumpen

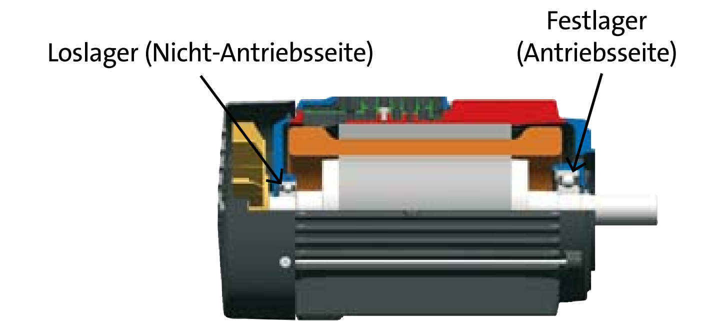
Das gegenüber dem Festlager angeordnete Loslager wird mit einem Sprengring fixiert. Als Festlager wird entweder ein Rillenkugellager oder ein Schrägkugellager verwendet.

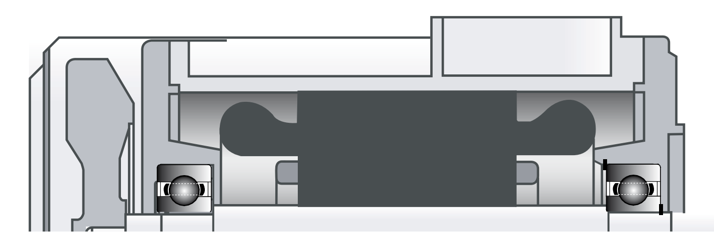
In der zweiten Abbildung von oben auf der rechten Seite ist ein Festlager dargestellt, dass auf der Antriebsseite mit Hilfe von Sicherungsringen fest eingebaut ist. Die Sicherungsringe sind zwischen dem Innenring und der Welle sowie zwischen dem Außenring und der Lageraufnahme im Gehäuse angeordnet. Diese Art der Lagerbefestigung wird bei kleinen Motoren bis Baugröße 132 verwendet. Bei größeren Motoren ab Baugröße 132 kommen in der Regel Sicherungsringe und/oder Lagerdeckel zum Einsatz, so dass der Außenring bei der Einleitung von Axialkräften keine Bewegung ausführen kann.

Die dritte Abbildung von oben auf der rechten Seite zeigt eine Lageranordnung mit einem Festlager auf der Antriebsseite und einem mit einem federbelasteten, als Loslager ausgeführten Schrägkugellager auf der Nicht-Antriebsseite, das die Motorkräfte aufnimmt. Damit das Schrägkugellager die Axialkräfte aufnehmen kann, muss das Lager so eingebaut werden, dass die große Anlegefläche des Innenrings an der Wellenschulter und die große Anlegefläche des Außenrings an der Lageraufnahme im Gehäuse anliegt. Durch diese Anordnung werden die axialen Zugkräfte vom Schrägkugellager aufgenommen.

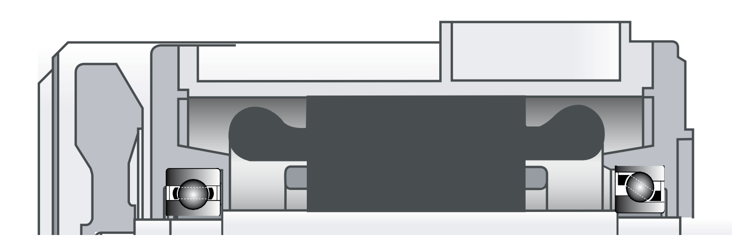
Vorspannung

Im Allgemeinen weisen Lager eine geringe Lagerluft während des Betriebs auf. In den meisten Anwendungen werden die Lager deshalb über Federn vorgespannt, um die Lagerluft bei geringer Last auszugleichen. Als Federn kommen hauptsächlich Federringe oder Tellerfedern zum Einsatz, die die Vorspannung aufbringen. Besonders Schrägkugellager und Rillenkugellager mit großer Radialluft werden mit einer Vorspannung beaufschlagt.

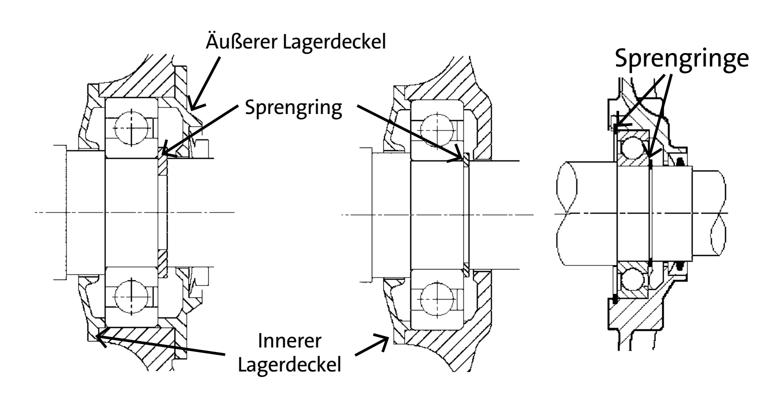




Lagereinheit mit zwei Rillenkugellagern: federbelastetes Loslager auf der Nicht-Antriebsseite und Festlager auf der Antriebsseite



Lagereinheit mit federbelastetem Loslager (Rillenkugellager) auf der Nicht-Antriebsseite und einem als Festlager ausgeführten Schrägkugellager zur Aufnahme der Motorkräfte.



Anordnung von als Festlager ausgeführten Antriebslagern

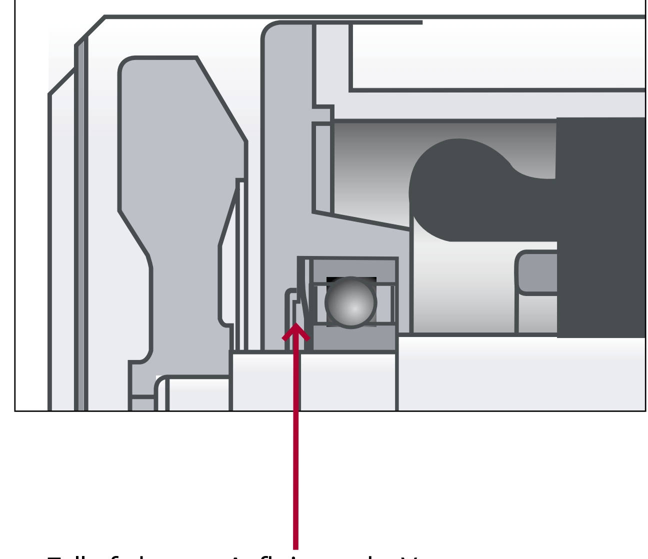
Aufgabe der Vorspannung

Durch das Aufbringen einer Vorspannung wirkt auf die Wälzkörper und die Laufbahnoberflächen ständig eine federbelastete Druckkraft an den Kontaktpunkten. Auf diese Weise besitzt das Lager im Einbauzustand eine hohe Steifigkeit, so dass sich der Innen- oder Außenring auch bei Aufbringen einer Last nicht radial oder axial verschieben.

Die Vorspannung hat mehrere Aufgaben:

- Verbessern der Positionsgenauigkeit und Rundlaufgenauigkeit
- Vermeiden oder Unterbinden von Geräuschen, Schwingungen und Wellenschlag
- Verringern des Schmiermittelaustritts und Regulieren der Wälzkörperrotation

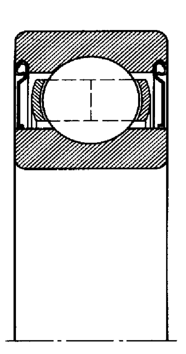
Zudem sorgt die Vorspannung bei horizontal eingebauten Axial-Kugellagern und Rollenlagern dafür, dass die Wälzkörper in ihrer vorgesehenen Position bleiben. In Verbindung mit Loslagern ist die Verwendung von Tellerfedern die am häufigsten angewandte Methode zum Aufbringen einer Vorspannung.



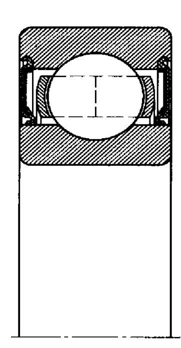
Tellerfeder zum Aufbringen der Vorspannung

Abdichtung

Die konstruktive Ausführung der Abdichtung des Motors erfolgt entsprechend seiner IP-Einstufung. Ein Motor mit lebensdauergeschmierten Lagern verfügt über mehrere Dichtungen: Eine Dichtung am Lager selbst und eine oder mehrere Dichtungen, die Teil der gesamten Motorkonstruktion sind. Die Lagerabdichtung kann entweder über eine reibungsarme Metallabdeckscheibe oder eine reibungsbehaftete, berührende Gummidichtung erfolgen. Der Spalt zwischen dem Gehäuse und der Welle wird in der Regel mit einer Gummidichtung abgedichtet.



Rillenkugellager mit Metallabdeckscheiben (Nachsetzzeichen z.B. ZZ)



Rillenkugellager mit Gummi-Lippendichtung



Was ist beim Einbau von Lagern zu beachten?

In diesem Abschnitt werden einige der wichtigsten Punkte aufgeführt, die beim Einbau von Lagern in Elektromotoren zu beachten sind.

Innere Axialkräfte

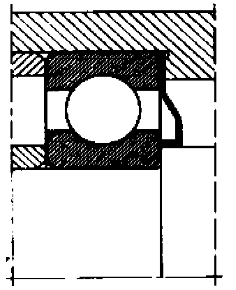
Die Lagerkonstruktion muss einen Bewegungsausgleich in axialer Richtung ermöglichen. Die Beweglichkeit in Längsrichtung, die durch innere Axialkräfte verursacht wird, wird mit Hilfe eines Loslagers gewährleistet.

Vorspannkraft

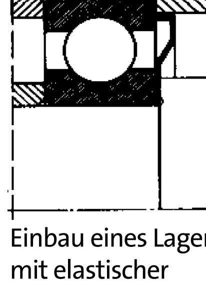
Um Geräuschen während des Betriebs entgegenzuwirken, muss die Lagereinheit z.B. mit Hilfe einer Tellerfeder axial vorgespannt werden. Die empfohlene Vorspannung beträgt ca. 1,5 % der dynamischen Nennlast des Lagers. Die dynamische Belastung von Lagern wird später in diesem Kapitel behandelt.

Axiale Lagertragfähigkeit in Abhängigkeit der Lagerluft

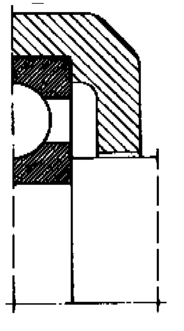
Soll die axiale Tragfähigkeit eines Rillenkugellagers etwas gesteigert werden, muss die Radialluft im Betrieb nahe Null oder leicht über Null liegen. Für Motoren werden deshalb häufig Rillenkugellager mit erhöhter Radialluft C3 ausgewählt. C3-Lager sind eine Radialluftklasse höher eingestuft als CN-Lager mit normaler Radialluft. In einigen Fällen werden jedoch auch C4-Lager statt C3-Lager eingesetzt, weil sie ein etwas größeres Spiel als C3-Lager aufweisen.



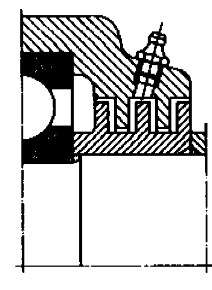
Einbau eines Lagers mit elastischer Metallabdeckscheibe



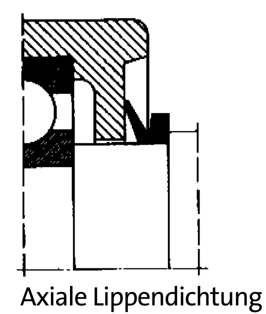
Einbau eines Lagers mit elastischer Metallabdeckung



Spaltring



Labyrinthdichtung



Axiale Lippendichtung

Radiale Lippendichtung

Was ist beim Einbau von Lagern zu beachten?



Betriebsspalt

Die Radialluft des Lagers während des Betriebs ergibt sich aus der Anfangslagerluft, der Verringerung der Radialluft beim Einbau des Lagers (Presspassung) und Temperaturunterschieden innerhalb des Lagers. Normalerweise sollte die Temperaturdifferenz zwischen dem Innen- und Außenring nicht mehr als 10 bis 15 K betragen. Ob für die Antriebsseite ein Rillenkugellager mit der Radialluft C3 oder C4 gewählt werden sollte, ist abhängig vom Pumpentyp. C4-Lager besitzen eine höhere Tragfähigkeit in Verbindung mit Axialkräften und sind weniger empfindlich gegenüber Temperaturunterschieden.

Lager mit einem Radialluftspalt C3 hingegen können die auftretenden Axialkräfte aufnehmen, wenn die Pumpen eine Axialschubentlastung besitzen oder nur kurzzeitig laufen und dann längere Zeit stillstehen.

Herstellerempfehlungen

Lager sind immer entsprechend der Vorgaben des Herstellers einzubauen. Dabei sind auch die Durchmessertoleranzen, Rundlaufgenauigkeit und Winkelabweichung zu beachten.

Nachschmieren

Das Nachschmieren der Lager ist bei Motoren ab ca. 11 kW möglich. Kleinere Motoren sind mit lebensdauergeschmierten Lagern ausgerüstet, die nicht nachgeschmiert werden müssen.

Pumpentyp	Axialkräfte	Lagerbauart und empohlene Radialluft Antriebsseite	Nicht-Antriebsseite
LM/LP, NM/NP CR (max. 3 kW), TP Niederdruck	Mittlere bis hohe Kräfte. Hauptsächlich äußere Zugkraft am Wellenende.	Rillenkugellager (C4) als Festlager	Rillenkugellager (C3)
CR ab 4 kW	Hohe äußere Zugkräfte am Wellenende	Schrägkugellager als Festlager	Rillenkugellager (C3)
NB, CV, CPV, TP Hochdruck	Mittlere Kräfte. Hauptsächlich äußere Zugkraft am Wellenende (zum Teil Axialschubentlastung in der Pumpe)	Rillenkugellager (C3) als Festlager	Rillenkugellager (C3)
NK, CPH	Kleine Kräfte (Elastische Kupplung)	Rillenkugellager (C3) als Festlager	Rillenkugellager (C3)
CR SF	Hoher Innendruck	Rillenkugellager (C4)	Schrägkugellager als Festlager

Lageranordnung für verschiedene Pumpentypen.



Abschätzen der Lagerlebensdauer

Auf den folgenden Seiten wird gezeigt, wie die Lebensdauer eines Lagers ermittelt wird. Bei Normmotoren variieren die Belastung und das Schmierverhalten erheblich. Dies hat auch Auswirkungen auf die tatsächliche Lebensdauer der Lager. So erreichen nur wenige der in Elektromotoren eingebauten Lager die maximale, errechnete Lebensdauer.

Die Lebensdauer eines Lagers hängt von mehreren Faktorn ab. Hierzu zählen vor allem die Schmierung, die Drehzahl und die Anwendung. Motoren ab der Baugröße 132, die mit geschlossenen, lebensdauergeschmierten Lagern ausgerüstet sind, müssen nicht nachgeschmiert werden. Deshalb erfolgt die Angabe der Lebensdauer auf zwei verschiedene Arten: Nominelle Lebensdauer (L_{10}) oder Fettgebrauchsdauer (F_{10}).
In den nachfolgenden Abschnitten werden beide Lebensdauerangaben vorgestellt.

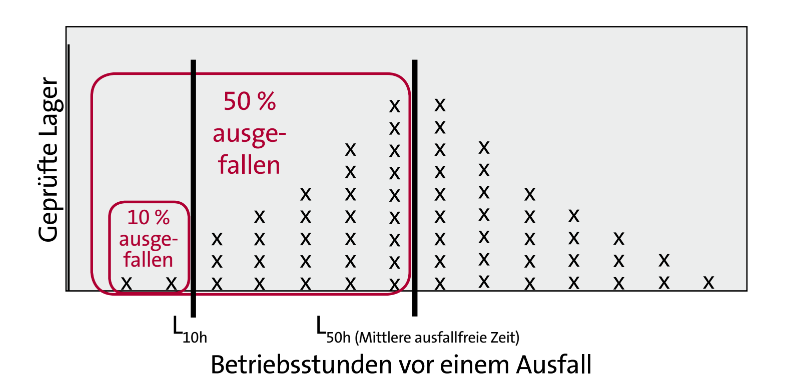
L_{10} oder nominelle Lebensdauer

L_{10} ist die nominelle Lebensdauer in Millionen Umdrehungen, die mindestens 90 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten.

L_{10} beschreibt die Lebensdauer von Lagern. L_{10} bzw. L_{10h} ist die Lebensdauer in Millionen Umdrehungen bzw. Stunden, die ein Lager voraussichtlich erreicht, bevor es ausgetauscht werden muss.

$L_{10h} = L_{10}$ ausgedrückt in Betriebsstunden.

L_{10h} basiert auf einer statistischen Verteilung, die von der Belastung, den Hauptabmessungen und den Toleranzen abhängig ist. Das Verfahren zur Ermittlung des Lagerlebensdauer ist in der Norm ISO 281:1990 beschrieben. Dabei wird vorausgesetzt, dass das Lager ordnungsgemäß eingebaut und geschmiert wird.



L_{10} ist die nominelle Lebensdauer in Millionen Umdrehungen, die mindestens 90 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten.

Abschätzen der Lagerlebensdauer

Eine andere anerkannte Möglichkeit zur Angabe der Lagerlebensdauer ist L_{50h}, die auch als mittlere ausfallfreie Zeit bezeichnet wird. L_{50h} ist die Lebensdauer, die mindestens 50 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten. Es ist jedoch zu beachten, dass der Wert L_{50h} nicht fünfmal so hoch ist wie der von L_{10h}.

Unter normalen Betriebsbedingungen liegt die Lebensdauer L_{10h} von Motorlagern im Bereich von 16.000 bis 40.000 Betriebsstunden.

F_{10h} oder Fettgebrauchsdauer

F_{10h} ist ein Maß für die Lebensdauer der Fettfüllung. Wie lange das Fett seine Schmierfähigkeit behält, hängt von den folgenden Faktoren ab:

- Fettsorte
- Betriebstemperatur
- Lagergröße
- Einbausituation
- Drehzahl

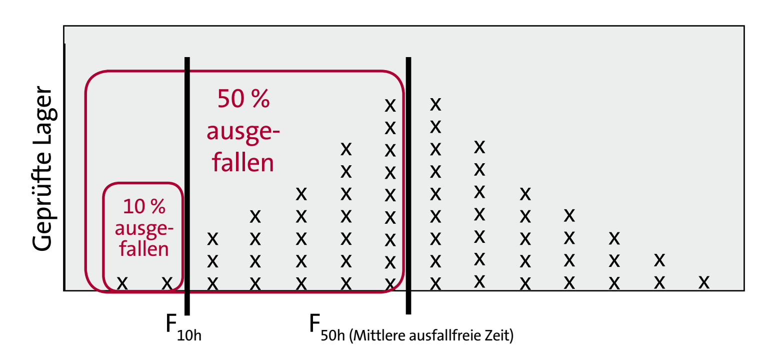
Für die Ermittlung der Fettgebrauchsdauer F_{10h} gibt es keine genormten Berechnungsverfahren. Dennoch haben führende Lagerhersteller verschiedene Berechnungsverfahren erarbeitet, die eine Bestimmung von F_{10h} ermöglichen.

Die Fettgebrauchsdauer F_{10h} liegt bei Motorlagern zwischen 30.000 und 40.000 Betriebsstunden.

Welche Lebensdauerangabe (L_{10h} oder F_{10h}) darüber entscheidet, wann ein dauergeschmiertes Lager ausgetauscht werden muss, hängt davon ab, welcher der beiden Werte niedriger ist.

Für Motoren ab Baugröße 160 werden offene Lager eingesetzt, die nachgeschmiert werden können. Werden die Nachschmierintervalle eingehalten, ist der Wert L10h ausschlaggebend dafür, wann das Lager auszutauschen ist.

Es ist jedoch fast unmöglich vorherzusagen, wie lange die Lebensdauer eines bestimmten Lagers unter realen Betriebsbedingungen tatsächlich ist. Dennoch liefern Berechnungen nützliche Anhaltswerte.



F_{10h} ist ein Maß für die Lebensdauer der Fettfüllung.



Berechnen der Lagerlebensdauer L_{10h}

Die Lagerlebensdauer L_{10h} kann mit Hilfe der Gleichung auf der rechten Zeit berechnet werden. Nachfolgend sind die Faktoren beschrieben, die Einfluss auf die Lagerlebensdauer L_{10} haben.

10 % aller Lager sind verschlissen wenn sie den Wert L_{10h} erreicht haben.

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

a_1 - Korrekturfaktor für die Ausfallwahrscheinlichkeit

Wird die Lebensdauerangabe L_{1h} benötigt (d.h. 1 % der Lager sind bei Erreichen des Werts L_{1h} verschlissen), ist für den Faktor a_1 der Wert 0,21 einzusetzen. In der Regel wird jedoch zur Angabe der Lagerlebensdauer L_{10h} verwendet. Dann ist $a_1 = 1$.

a_2 - Korrekturfaktor für die Werkstoffeigenschaften

(Berücksichtigung des Werkstoffs und Fertigungsverfahrens). Bei Standardlagern ist dieser Faktor immer 1.

a_3 - Korrekturfaktor für die Betriebsbedingungen

Sind die Betriebsbedingungen oder die Lagerschmierung besser als im Normalfall, kann dieser Faktor größer als 1 sein. Bei schlechten Betriebsbedingungen oder schlechter Schmierung wird für diesen Faktor ein Wert unter 1 angesetzt. Wird ein Korrekturfaktor größer 1 gewählt, muss die Anwendung unbedingt bekannt sein. Da dies häufig bei Motorlagern nicht der Fall ist, wird der Faktor a_3 zu 1 gesetzt, um eine realistische Lebensdauer zu erhalten.

n - Lagerdrehzahl [min^{-1}]

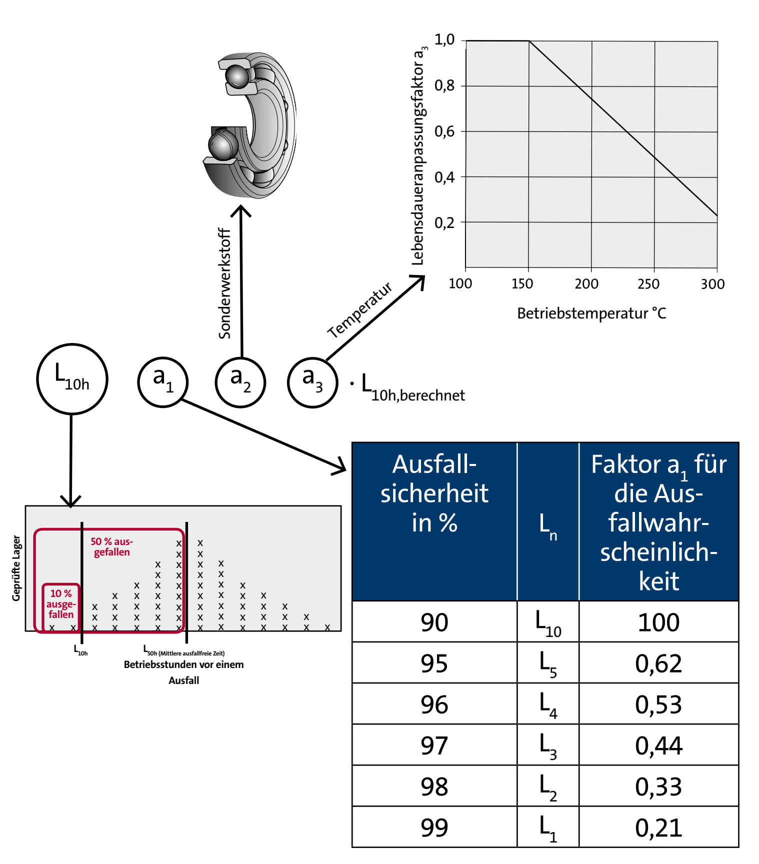
Entspricht in etwa der Drehzahl des Motors.

C - Dynamische Traglast

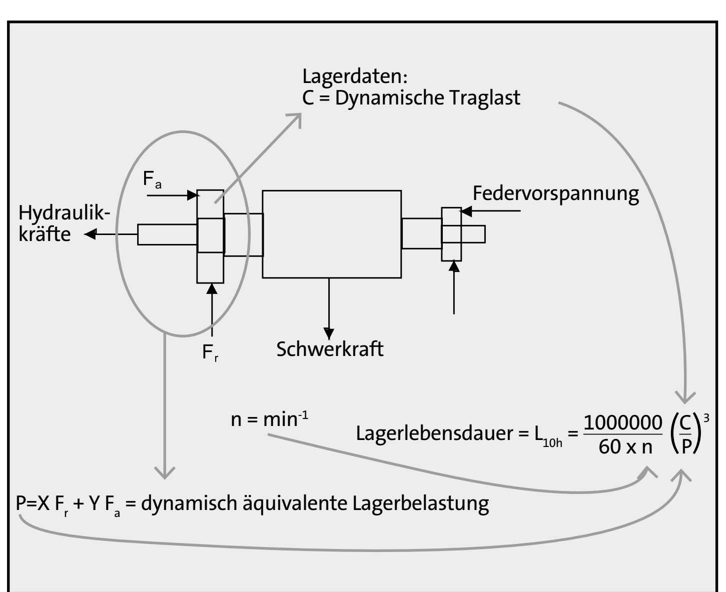
Die dynamische Traglast ist abhängig von der Lagerbauart und der Lagergröße. Sie wird in den Katalogen der Lagerhersteller angegeben.

P - dynamisch äquivalente Belastung

Dieser Wert ist ein Maß für die Belastung, der ein Lager während des Betriebs ausgesetzt ist. Die dynamisch äquivalente Belastung wird auf Basis genormter Berechnungsverfahren ermittelt. Dabei ist zu beachten, das das Berechnungsverfahren von der Lagerbauart abhängig ist.



Ausfall-sicherheit in %	L_n	Faktor a_1 für die Ausfallwahrscheinlichkeit
90	L_{10}	100
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21





Lagerbelastung beim Antreiben einer Pumpe

Um die dynamisch äquivalente Lagerbelastung P berechnen zu können, müssen die Kräfte bekannt sein, die auf das Lager wirken. Dabei sind zwei Arten von Kräften zu berücksichtigen: die Axiallast F_a und die Radiallast F_r.

Axiallast F_a

Die Axiallast F_a wird mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

bei vertikalem Einbau

$$F_a = F_{hydraulisch} + F_{Feder} + F_{Schwerkraft,Rotor}$$

bei horizontalem Einbau

$$F_a = F_{hydraulisch} + F_{Feder}$$

Radiallast F_r

Die Radiallast F_r wird mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

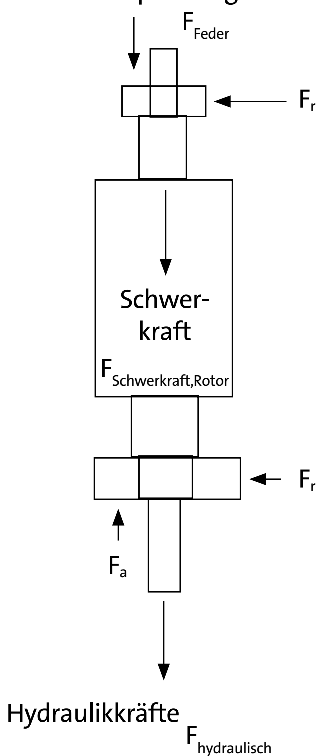
bei vertikalem Einbau

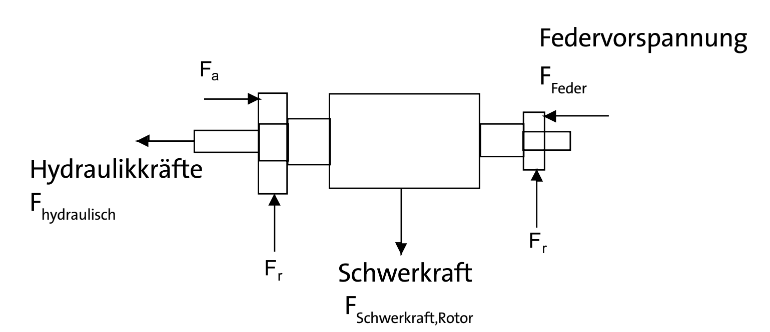
$$F_r = 0,1 \cdot F_a$$

bei horizontalem Einbau

$$F_r = 0,1 \cdot F_a + 0,5 \cdot F_{Schwerkraft,Rotor}$$

Für die Anwendung Elektromotor für den Pumpenbetrieb kann die Radiallast F_r überschlägig durch Multiplizieren der Axiallast F_a mit dem Faktor 0,1 berechnet werden.







Dynamisch äquivalente Lagerbelastung von einreihigen Rillenkugellagern

Für einreihige Rillenkugellager wird die dynamisch äquivalente Lagerlast mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

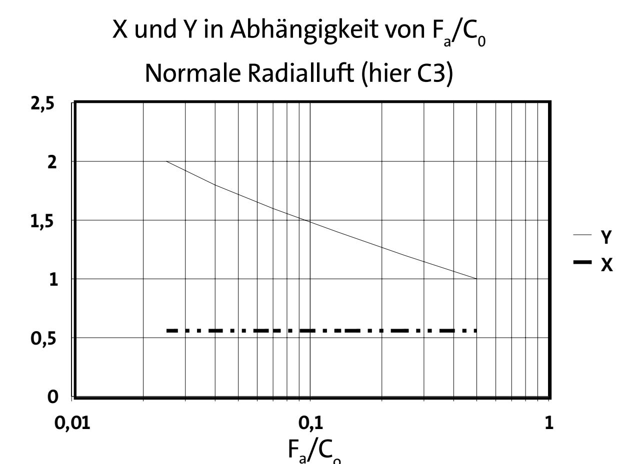
$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

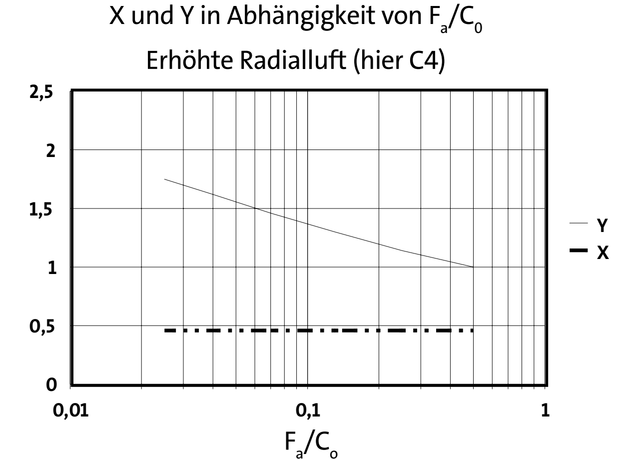
Die Faktoren X und Y können den beiden Diagrammen auf der rechten Seite entnommen werden. Um den Faktor Y ablesen zu können, muss zuvor das Verhältnis F_a/C_0 bestimmt werden. C_0 ist dabei die statische Traglast. Sie wird in den Katalogen der Lagerhersteller zusammen mit der dynamischen Tragzahl angegeben. Dargestellt sind die X- und Y-Faktoren für Lager mit Radialluft C3 (normale Lagerluft bei Lagern für Elektromotoren) und Radialluft C4 (erhöhte Lagerluft bei Lagern für Elektromotoren).

Dynamisch äquivalente Lagerbelastung von einreihigen Schrägkugellagern

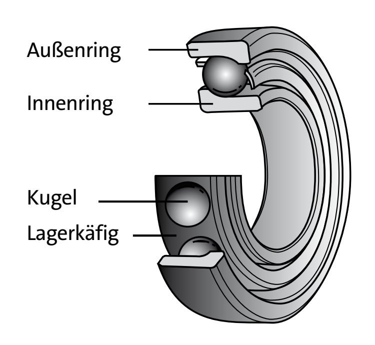
Für einreihige Schrägkugellager wird die dynamisch äquivalente Lagerlast mit Hilfe der folgenden Gleichung berechnet:

$$P = 0{,}35 \cdot F_r + 0{,}57 \cdot F_a$$





X- und Y-Faktoren in Abhängigkeit des Verhältnisses F_a/C_0 für Lager mit normaler und erhöhter Radialluft während des Betriebs.





Allgemeine Schmierregeln im Hinblick auf die Lagerlebensdauer

Die berechnete Lebensdauer L_{10h} dauergeschmierter Lager mit zwei Deckscheiben wird durch die Lebensdauer des Schmierfetts begrenzt. Für Grundfos Motoren bis 7,5 kW liegt die zu erwartende Fettgebrauchsdauer je nach Umgebungstemperatur, Verschmutzungsgrad und anderen Betriebsbedingungen zwischen 16.000 und 40.000 Betriebsstunden. Bei Motoren, deren Lager nachgeschmiert werden können, sind die Herstellerempfehlungen zu beachten, damit die berechnete Lagerlebensdauer L_{10h} auch erreicht wird.

Auf den nachfolgenden Seiten wird gezeigt, wie die nominelle Lebensdauer von Rillenkugellagern und Schrägkugellagern berechnet wird.

Berechnungsbeispiel Nr. 1:

Axiallager (Rillenkugellager) in einem MG-Motor mit 2,2 kW, der eine Pumpe CR 32-1 antreibt.

Einbaurichtung	vertikal
Betriebspunkt	Q = 15 m^3/h, H = 19 m, 50 Hz
Hydraulikkräfte von der Pumpe	505 N
Lagerdrehzahl	n = 2900 min^{-1}
Motor	MG90 - 2,2 kW
Axiallager im Motor	Rillenkugellager 6305 mit C4-Radialluft
Schmiervorrichtung	Nein – dauergeschmiertes Lager
Rotormasse	4 kg
Vorspannung der Tellerfeder im Innern des Motors	350N
Dynamische Traglast	C = 22500 N
Statische Traglast	C_0 = 11600 N

Daten für das Ausführungsbeispiel MG-Motor mit 2,2 kW zum Antreiben der Pumpe CR 32-1.

Schritt 1: Bestimmen der Lagerkräfte

Senkrechter Einbau

$$F_a = F_{hydraulisch} + F_{Feder} + F_{Schwerkraft,Rotor}$$

$$F_a = 505\ N + 350\ N + 40\ N = 895\ N$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot F_a$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot 895 = 90\ N$$



Allgemeine Schmierregeln im Hinblick auf die Lagerlebensdauer

Schritt 2:
Berechnen der dynamischen Lagerlast

$$F_a/C_0 = 895\ \text{N} / 11600\ \text{N} = 0{,}08$$

Die Faktoren X und Y werden dem Diagramm entnommen. Das Lager besitzt die Radialluft C4. Deshalb sind die Werte für erhöhte Lagerluft nach dem Einbau in den Motor zu verwenden. Die aus dem Diagramm abgelesenen Werte lauten: X = 0,46 und Y = 1,43.

Die dynamisch äquivalente Belastung wird dann wie folgt berechnet:

$$P = 0{,}46 \cdot F_r + 1{,}43 \cdot F_a$$

$$P = 0{,}46 \cdot 90\ \text{N} + 1{,}43 \cdot 895 = 1321\ \text{N}$$

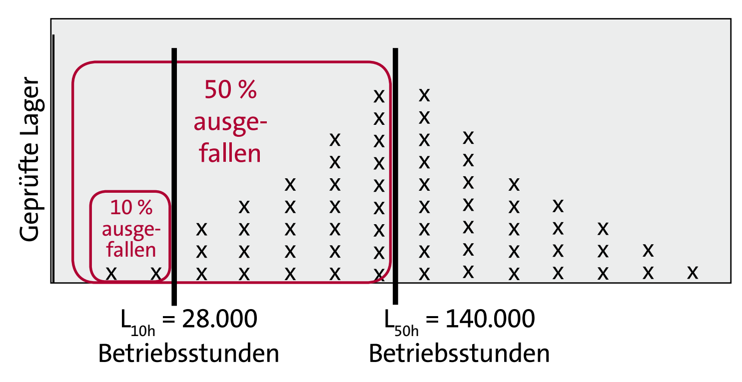
X und Y in Abhängigkeit von F_a/C_0
Erhöhte Radialluft (hier C4)

2,5
2
1,5
1
0,5
0
0,01
0,08 0,1
1
1,43
0,46
Y
X

Schritt 3:
Ermitteln der Lagerlebensdauer L_{10h}

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{p}\right)^3$$

$$L_{10h} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 2900} \cdot \left(\frac{22500}{1321}\right)^3 = 28000\ \text{h}$$



Betriebsstunden vor einem Ausfall

Schritt 4: Beurteilen der berechneten Lagerlebensdauer

Die berechnete Lagerlebensdauer ergibt sich zu L_{10h} = 28.000 h. Verschiedene Faktoren, wie z.B. Temperatur, Verschmutzung, usw. können jedoch die Lebensdauer der Fettfüllung verkürzen. Dadurch kann die tatsächliche Lagerlebensdauer kleiner als die berechnete Lagerlebensdauer L_{10h} sein.

Allgemeine Schmierregeln im Hinblick auf die Lagerlebensdauer



Berechnungsbeispiel Nr. 2:
Axiallager (Schrägkugellager) in einem 18,5-kW-Motor, der eine Pumpe CR 45-3-2 antreibt.

Einbaurichtung	vertikal
Betriebspunkt	Q = 26 m^3/h, H = 98 m, 60 Hz
Hydraulikkräfte von der Pumpe	1 x 1262 + 2 x 947 = 3156 N
Lagerdrehzahl	n = 3516 min^{-1}
Motor	Siemens 18,5 kW
Axiallager im Motor	Schrägkugellager 7309B
Schmiervorrichtung	Ja– Nachschmieren nach 3000 Betriebsstunden
Rotormasse	21 kg
Vorspannung über Tellerfeder im Motor	400 N
Dynamische Traglast	C = 60500 N
Statische Traglast	C_0 = 41500 N

Daten für das Ausführungsbeispiel 18,5-kW-Motor für die Pumpe CR 45-3-2.

Schritt 1: Bestimmen der Lagerkräfte

$$F_a = F_{hydraulisch} + F_{Feder} + F_{Schwerkraft,Rotor}$$

$$F_a = 3156\ N + 400\ N\ 210\ N = 3766\ N$$

$$F_r = 0{,}1 \cdot F_a$$

$$Fr = 0{,}1 \cdot 3766\ N = 377\ N$$



Allgemeine Schmierregeln im Hinblick auf die Lagerlebensdauer

Schritt 2:
Berechnen der dynamischen Lagerlast

$$P = 0{,}35 \cdot F_r + 0{,}57 \cdot F_a$$

$$P = 0{,}35 \cdot 377\ N + 0{,}57 \cdot 3766\ N = 2279\ N$$

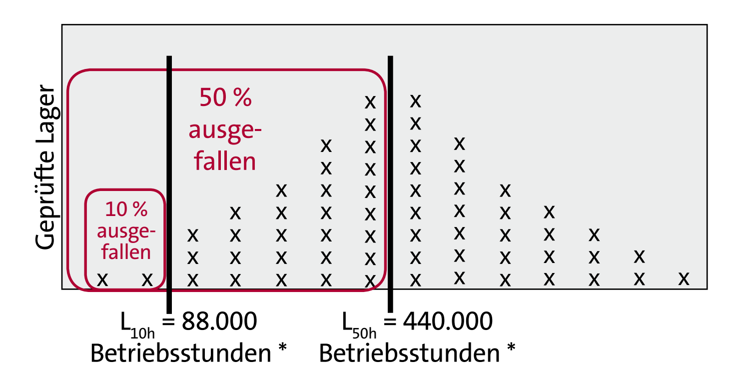
Schritt 3:
Ermitteln der Lagerlebensdauer L_{10h}

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3$$

$$L_{10h} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{1000000}{60 \cdot 3516} \cdot \frac{(60500)^3}{2279} = 88000\ h$$

Schritt 4: Beurteilen der berechneten Lagerlebensdauer

Die berechnete Lagerlebensdauer ergibt sich zu L_{10h} = 88.000 h. Um zu vermeiden, dass durch die Lebensdauer der Fettfüllung die Lagerlebensdauer herabgesetzt wird, muss das Lager alle 3.000 Betriebsstunden nachgeschmiert werden.



Betriebsstunden vor einem Ausfall

* wenn die Lager in diesem speziellen Beispiel mindestens alle 3.000 Betriebsstunden nachgeschmiert werden



Abschätzen der Fettgebrauchsdauer – F_{10h}

In Normmotoren werden entweder dauergeschmierte Lager eingesetzt oder Lager, die nachgeschmiert werden können. Motorlager sind in der Regel einer höheren Erwärmung ausgesetzt als andere Lager. Ursache für die Erwärmung sind die Reibungswärme durch die Rotation der Wälzkörper und dass die Wärme von den Motorwicklungen und dem Rotor über die Lager abgeführt wird. Deshalb ist zum Schmieren der Motorlager eine Fettsorte zu wählen, die eine hohe Temperaturbeständigkeit aufweist. Alle Lagerhersteller bieten Fettsorten an, die besonders zum Schmieren der Lager von Elektromotoren geeignet sind.

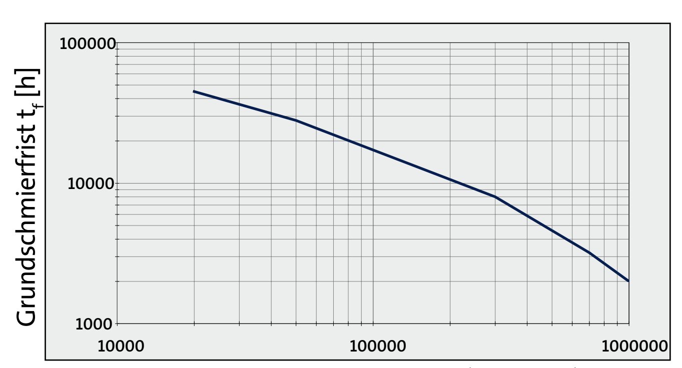
Die Grundschmierfrist wird auf Grundlage eines Geschwindigkeitskennwerts bestimmt. Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt einen vereinfachten Kurvenverlauf, der Anhaltswerte für die Grundschmierfrist von für Motoren bestimmtes Hochtemperaturfett liefert. Die Grundschmierfrist t_f ist ein Maß für die Fettgebrauchsdauer F_{10h} mit einer Ausfallrate von ca. 10 %.

Weichen die Betriebsbedingungen von den normalen Betriebsbedingungen ab, ist die Grundschmierfrist t_f mit Hilfe von Korrekturfaktoren auf eine korrogierte Schmierfrist t_{fq} zu reduzieren.

$$F_{10h} \text{ oder } t_{fq} = t_f \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6$$

Bei sich ständig ändernden Betriebsbedingungen kann die tatsächliche, reduzierte Fettgebrauchsdauer erheblich kürzer als die Grundschmierfrist sein. Wird das verkürzte Schmierintervall nicht eingehalten, kann dies zu einer erheblich höheren Ausfallrate führen.

Grundschmierfrist



Geschwindigkeitskennwert (mm/min)
t_f = Grundschmierfrist, $t_{fq} = F_{10h}$

Geschwindigkeitskennwert = $K_f \cdot n \cdot d_m$ [mm/min]

K_f : Lagerfaktor
Rillenkugellager = 1
Schrägkugellager = 1,6

n : Lagerdrehzahl [min^{-1}]

d_m : Mittlerer Lagerdurchmesser = (D+d)/2 [mm]
D = Außendurchmesser des Lagers [mm]
d = Innendurchmesser des Lagers [mm]

Korrektur-faktor		Abschwäch-ungsgrad	Abschwäch-ungswert
f_1	Staub und Feuchtigkeit auf den Lager-Wirkflächen	mittel	f_1 = 0,9 bis 0,7
		hoch	f_1 = 0,7 bis 0,4
		sehr hoch	f_1 = 0,4 bis 0,1
f_2	Einfluss von staubabhängigen Belastungen und Schwingungen	mittel	f_2 = 0,9 bis 0,7
		hoch	f_2 = 0,7 bis 0,4
		sehr hoch	f_2 = 0,4 bis 0,1
f_3	Erhöhte Lagertemperatur (Die angegebenen f_3-Faktoren gelten für Hochtemperaturfett)	90 °C	f_3 = 0,9 bis 0,6
		105 °C	f_3 = 0,6 bis 0,3
		120 °C	f_3 = 0,3 bis 0,1
f_4	Erhöhte Last	P/C* = 0,1 bis 0,15	f_4 = 1,0 bis 0,7
		P/C = 0,15 bis 0,25	f_4 = 0,7 bis 0,4
		P/C = 0,25 bis 0,35	f_4 = 0,4 bis 0,1
f_5	Luftstrom durch das Lager	geringer Luftstrom	f_5 = 0,7 bis 0,5
		hoher Luftstrom	f_5 = 0,5 bis 0,1
f_6	Senkrechte Welle	dichtungs-abhängig	f_6 = 0,7 bis 0,5

* P = Äquivalente Lagerbelastung
C = Dynamische Lagertragzahl

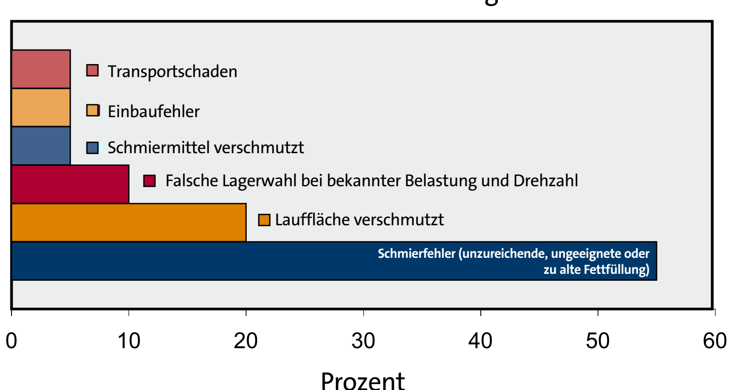


Lagerschäden

Die Lager sind die Komponenten im Motor, die dem höchsten Verschleiß ausgesetzt sind. Die häufigste Ursache für Instandsetzungsarbeiten am Motor sind Lagerprobleme. Werden die Lagerschäden weiter kategorisiert, wird schnell deutlich, dass eine fehlerhafte Schmierung der Hauptgrund für den Ausfall von Lagern ist. Die zweithäufigste Ausfallursache ist Verschmutzung. Wegen externer Faktoren erreichen weniger als 1 % die Betriebsdauer, die sie unter optimalen Bedingungen hätten erreichen können.

Bei Ausfall eines Lagers ist es häufig schwierig, die genaue Ausfallursache zu erkennen. Die häufigsten Ausfallursachen von Lagern, die in Pumpenmotoren eingesetzt werden, sind:

- normaler Verschleiß
- verringerte oder keine Schmierung
- zu hohe Umgebungstemperatur
- Überlastung der Pumpe
- Korrosion
- Lagerströme bei Frequenzumrichterbetrieb
- Ausrichtungsfehler
- Transportschäden
- Schwingungen



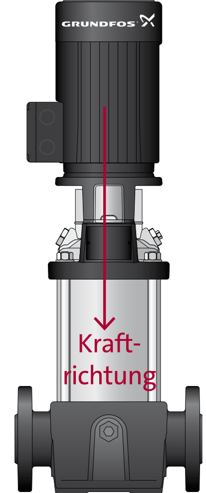
Ausfallursachen bei Wälzlagern.
Nur 1 % aller Wälzlager erreichen die erwartete Lebensdauer.



Motorlager für Hochdruckpumpen

Auch Hochdruckpumpen gehören zum Produktsortiment von Grundfos. Der Unterschied zwischen einer Hochdruck- und einer Standardpumpe ist, dass die Laufradeinheit in der Hochdruckpumpe umgekehrt herum eingebaut wird, um die Gleitringdichtung zu schützen. Anstatt die Welle aus dem Motor zu ziehen, wirken die Axialschubkräfte bei Hochdruckpumpen in entgegengesetzter Richtung. Dadurch entsteht eine Anpresskraft, die dafür sorgt, dass die Welle in Richtung Motor gedrückt wird.

Im Vergleich zu Standardpumpen wird die Lagereinheit deshalb entgegengesetzt eingebaut, um die Druckkräfte von der Pumpe aufnehmen zu können. Das Schrägkugellager auf der Nicht-Antriebsseite ist als Festlager ausgeführt und dient so zur Aufnahme der Druckkräfte. Das Rillenkugellager auf der Antriebsseite ist als Loslager eingebaut.



CR-Standardpumpe

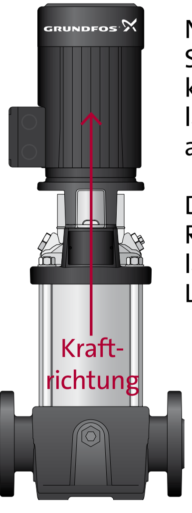
Hydraulikkräfte von der Pumpe wirken in Richtung Pumpe

Sonderlager für Motoren

Mit Hilfe von Frequenzumrichtern kann die Drehzahl eines Motors geregelt und dadurch die Pumpendrehzahl an den Bedarf angepasst werden. Bei über Frequenzumrichter geregelte Motoren können jedoch Ableitströme auftreten, so dass in den Lagern elektrische Lichtbögen entstehen, die zum Ausfall des betroffenen Lagers führen können. Um dies zu verhindern, werden der Innen- und Außenring sowie die Wälzkörper mit einem besonderen Werkstoff beschichtet, der die Leitfähigkeit der Lager herabsetzt. Das Aufbringen der Beschichtung ist jedoch zeitaufwendig und mit hohen Kosten verbunden.

Die neu im Markt eingeführten Lagertypen sind Ableger aus der Flugzeugindustrie, in der die folgenden drei Lagerbauarten eingesetzt werden:

- Hybridlager
- Voll-Keramiklager
- Keramikbeschichtete Lager



CR-Hochdruckpumpe

Hydraulikkräfte von der Pumpe wirken in Richtung Motor



Wie bereits häufiger in diesem Kapitel erwähnt, sind Schmierprobleme die häufigste Ausfallursache von heutigen Motoren. Keramikkugeln können die Auswirkungen von Schmierfehlern erheblich reduzieren, weil durch sie die Betriebstemperaturen des Lagers herabgesetzt werden und sie eine hohe Beständigkeit gegenüber Feststoffpartikeln aufweisen.

Hybridlager

Die Laufrillen von Hybridlagern sind aus herkömmlichem Wälzlagerstahl und die Lagerkugeln aus Keramik (in der Regel Siliziumnitrid) gefertigt. Im Vergleich zu Stahllagern besitzen Hybridlager folgende Vorteile:

- Höhere Drehzahlen und Genauigkeit
- Längere Gebrauchsdauer

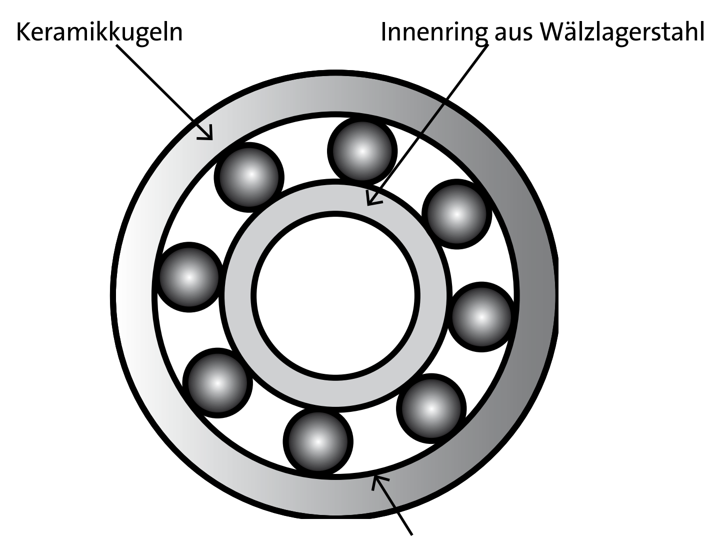
Die Vorteile sprechen für sich selbst. Deshalb kommen Hybridlager immer häufiger in einer Vielzahl von technischen Anwendungen zum Einsatz.

Sie sind jedoch sehr viel teurer als Standardlager. Auch wenn Hybridlager zunehmend kostengünstiger werden, sind sie nicht immer die wirtschaftlichste Lösung.

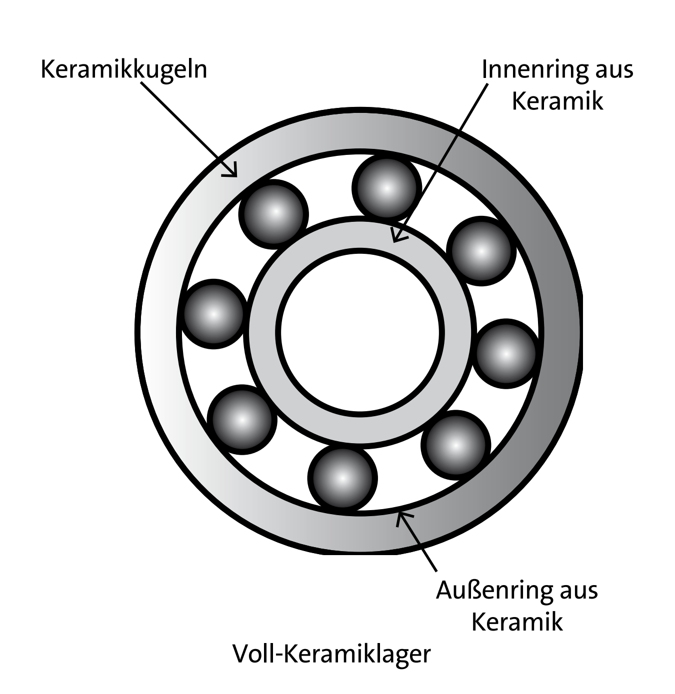
Voll-Keramiklager

Voll-Keramiklager werden - wie der Name besagt - vollständig aus einem Keramikwerkstoff gefertigt. Voll-Keramiklager bieten folgende Vorteile:

- Besonders hoher elektrischer und magnetischer Widerstand
- Hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit
- Schmier- und wartungsfrei besonders in Hoch- und Tieftemperaturanwendungen
- Widerstandsfähig gegenüber einer aggressiven Umgebung



Hybridlager



Voll-Keramiklager

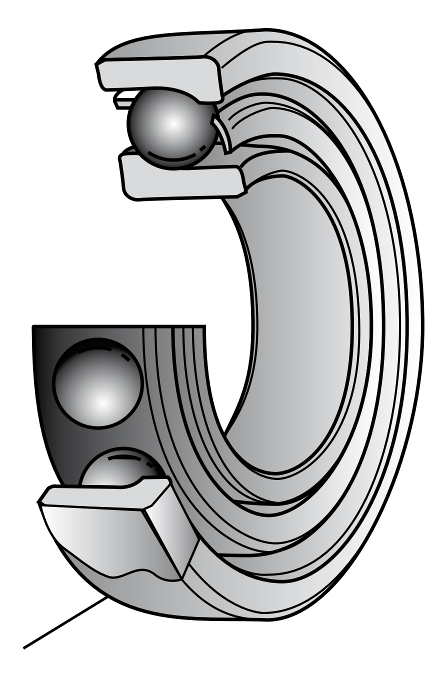
Isolierte Lager - keramikbeschichtete Lager

Bei dieser Lagerbauart wird entweder der Außenring oder der Innenring mit einer Keramikschicht überzogen. Die Kugeln sowie der Innen- und Außenring sind aus Stahl gefertigt. Der Keramiküberzug wird nur auf der Außenseite von einem der Ringe aufgebracht. Isolierte Lager unterscheiden sich von Hybridlagern und Voll-Keramiklagern hinsichtlich der Gebrauchsdauer, Temperaturbeständigkeit und Steifigkeit. Isolierte Lager werden am häufigsten eingesetzt, um bei einem Frequenzumrichterbetrieb einen Lagerausfall durch Lagerströme zu vermeiden.

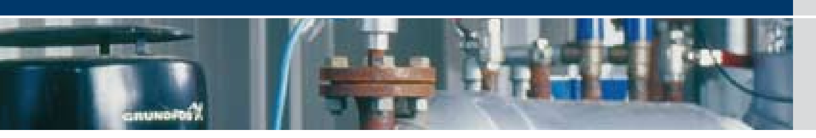
Die Isolierschicht am Außenring des Lagers besteht aus Aluminiumoxid, das im Plasmaspritzverfahren aufgebracht wird. Diese Art der Beschichtung kann einer dielektrischen Durchschlagspannung von 1000 V standhalten.

Elektrisch isolierte Lager gibt es in vielen Ausführungen. Zu den am häufigsten vertretenen Lagerbauarten gehören Zylinderrollenlager und Rillenkugellager, deren Außendurchmesser durchaus 75 mm übersteigen können. Dies entspricht einer Basiskennzeichnung größer 6208.

Wie Hybrid- und Keramiklager sind auch isolierte Lager teurer als Standardlager, auch wenn der Preisunterschied immer kleiner wird. Bei über Frequenzumrichter geregelten Motoren ab der Baugröße 250 werden isolierte Lager immer häufiger standardmäßig auf der Nicht-Antriebsseite eingebaut.



Isolierte Lager - keramikbeschichtete Lager


GRUNDFOS



8. Frequenzumrichterbetrieb



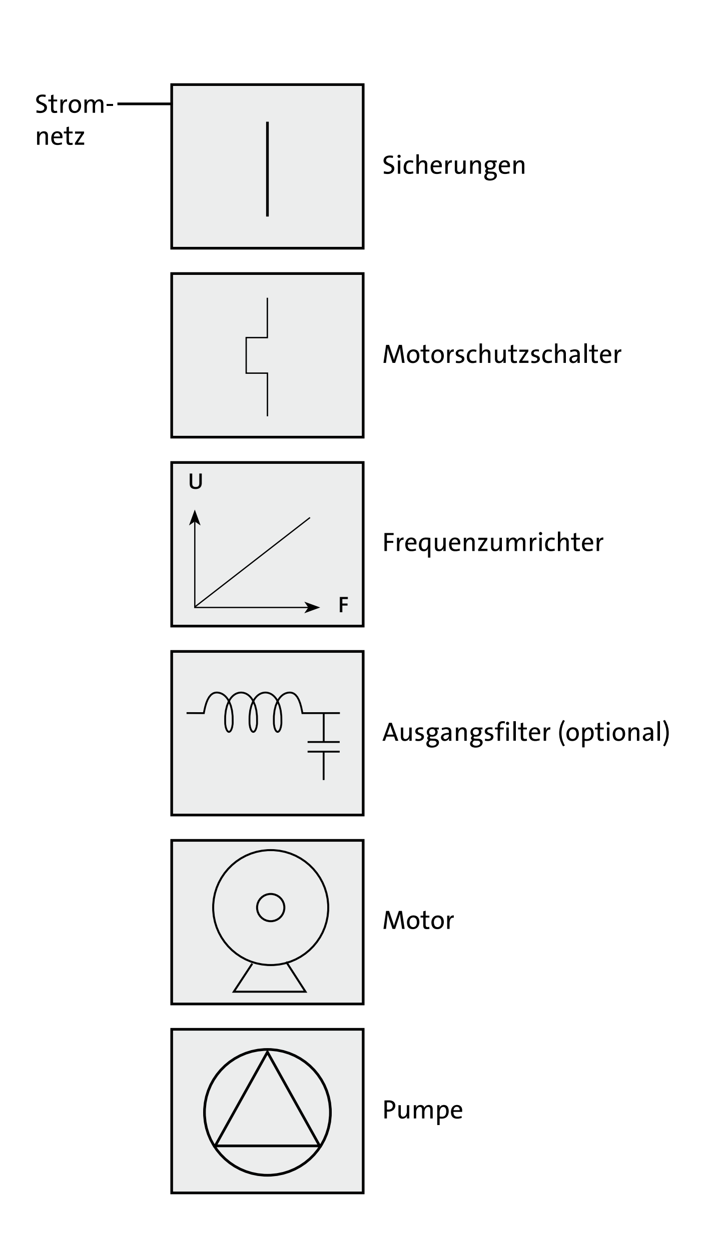
Frequenzumrichter

Frequenzumrichter

Eine Installation mit einem über Frequenzumrichter geregelten Motor enthält eine Reihe verschiedener Komponenten, die sorgfältig auf eine gegebene Anwendung abgestimmt sein sollten.

Die Komponenten einer Installation sollten deshalb immer entsprechend der vorliegenden Anwendung ausgewählt werden. Dies fängt mit der Wahl der passenden Pumpe an. Für die Pumpe ist dann ein geeigneter Motor zu wählen. Der Ausgangsfilter eines Frequenzumrichters muss auf die Volllastverhältnisse der Pumpe ausgelegt sein und gleichzeitig zum Frequenzumrichter passen. Der Frequenzumrichter wiederum muss den kompletten Leistungsbereich der Pumpe abdecken. Schließlich sind die Sicherungen und Motorschutzschalter auf den Frequenzumrichter abzustimmen.
Im Folgenden wird beschrieben, was bei der Auswahl der Komponenten zu beachten ist.

Mit Hilfe eines Frequenzumrichters kann die Drehzahl eines Asynchronmotors geregelt werden. Dies erfolgt durch Regeln der Ausgangsfrequenz, mit der der Motor versorgt wird.



Komponenten in einer typischen Installation

Frequenzumrichter

Der Schwerpunkt des vorliegenden Abschnitts liegt in der Beschreibung der für die Stromumwandlung verantwortlichen Bauteile eines Frequenzumrichters. Auf der rechten Seite ist ein Standard-Frequenzumrichter dargestellt, der aus folgenden leistungsführenden Unterkreisen besteht.

- Eingangsfilter
- Gleichrichter
- Energiespeicherkreis oder Zwischenkreis
- Wechselrichter

Die Funktion der verschiedenen Komponenten wird im Folgenden beschrieben:

Eingangsfilter

Der Eingangsfilter verhindert, dass im Frequenzumrichter erzeugte Oberwellen auf andere an die Netzversorgung angeschlossene Geräte übertragen werden. Er sorgt aber auch dafür, dass Störungen aus dem Netz den Frequenzumrichter nicht erreichen und seine Funktion beeinträchtigen.

Gleichrichter

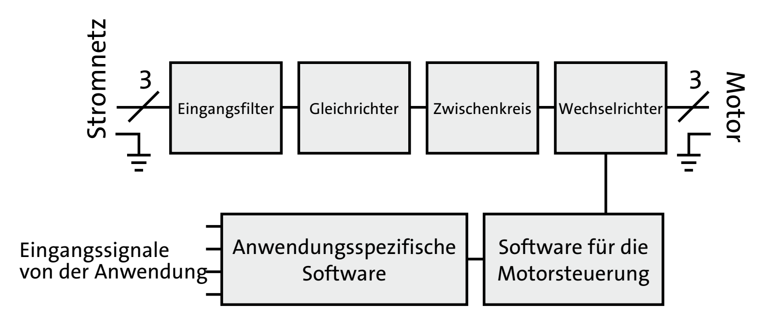
Der Gleichrichter wandelt die Netzspannung in eine pulsierende Gleichspannung um.

Energiespeicherkreis oder Zwischenkreis

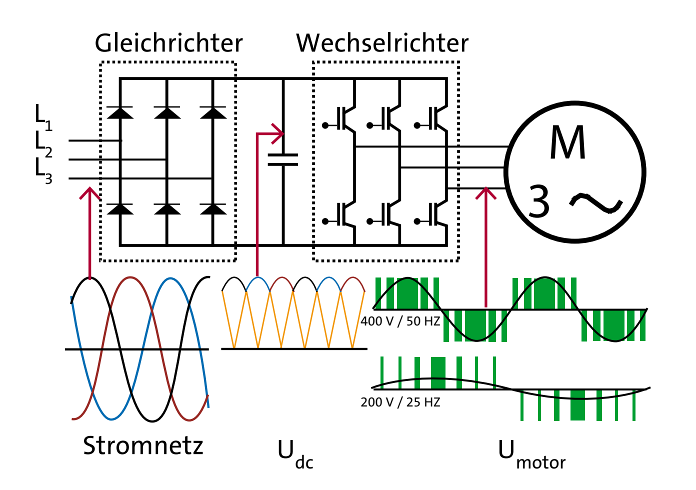
Die vom Gleichrichter erzeugte pulsierende Gleichspannung wird zum Zwischenkreis weitergeleitet. Dort wird sie in eine Gleichspannung mit einer überlagerten Wechselstromwelle umgewandelt. Die Amplitude der Wechselstromwelle ist abhängig von der am Wechselrichter anliegenden Last. Keine Last bedeutet somit keine Welle.

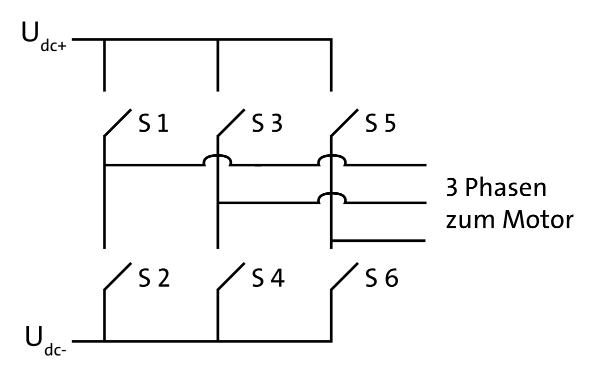
Wechselrichter

Der Wechselrichter wandelt die Gleichspannung in eine Ausgangsspannung mit variabler Frequenz und Amplitude um. Der Wechselrichter verfügt über sechs Schalter, die entweder ein- oder ausgeschaltet werden können.
Im nachfolgenden Abschnitt wird das Funktionsprinzip des Wechselrichters ausführlich beschrieben.



Standard-Frequenzumrichter





Der Wechselrichter verfügt über sechs Schalter, die entweder ein- oder ausgeschaltet werden können.



Funktionsprinzip des Wechselrichters

Die sechs Schalter im Wechselrichter werden nach einem bestimmten Muster geschaltet, so dass ein Drehfeld im Stator erzeugt wird. Das Schaltmuster entspricht der aktuellen Ausgangsspannung und Ausgangsfrequenz des Frequenzumrichters.

Wie aus der Abbildung auf der rechten Seite ersichtlich, können die Ausgangsphasen entweder mit U_{dc+} oder U_{dc-} oder mit keiner Spannung verbunden werden. Die Schalter 1 und 2 können niemals gleichzeitig geschlossen sein. Falls dennoch beide Schalter geschlossen sind, entsteht ein Kurzschluss im Innern des Frequenzumrichters, der zu einer Beschädigung des Frequenzumrichters führen kann. Im Folgenden wird die tatsächliche Ausgangsspannung bei einem vorgegeben Schaltmuster betrachtet.

Die Spannung zwischen der Ausgangsphase A und der Ausgangsphase B wird wie folgt berechnet:

$$U_A – U_B = U_{dc+} - U_{dc-}$$

Die Gleichung zur Berechnung der Spannung U_{dc+} lautet (mit Erde als Bezugspotential)

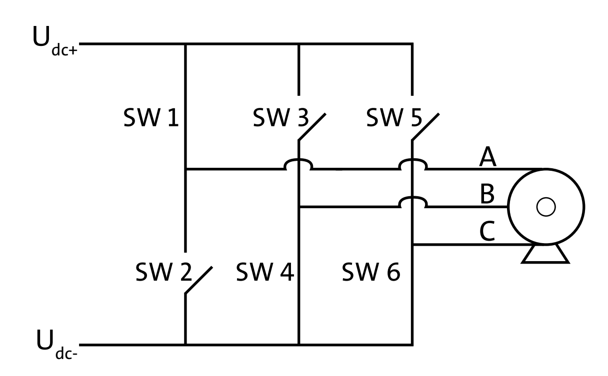
$$U_{dc+} = (U_{Netz} \bullet \sqrt{2})/2$$

Dabei ist U_{Netz} die Netzspannung, mit der der Frequenzumrichter eingangsseitig gespeist wird. U_{dc+} in einer typischen europäischen Installation mit U_{Netz} = 400 V ergibt sich somit wie folgt:

$$U_{dc+} = (400\ V \bullet \sqrt{2})/2 = 283\ V$$

Die Spannung U_{dc-} wird auf dieselbe Weise berechnet, jedoch - bei Erde als Bezugspotential - mit entgegengesetzter Polarität:

$$U_{dc-} = - 283\ V$$



Daraus lassen sich die Spannungen bestimmen, mit denen der Motor versorgt wird. In den drei Diagrammen auf der rechten Seite sind drei unterschiedliche Schaltzustände der Wechselrichterschalter dargestellt. Im ersten Diagramm beträgt die Spannung für den Motor:

$$U_A - U_B = 0\ V$$

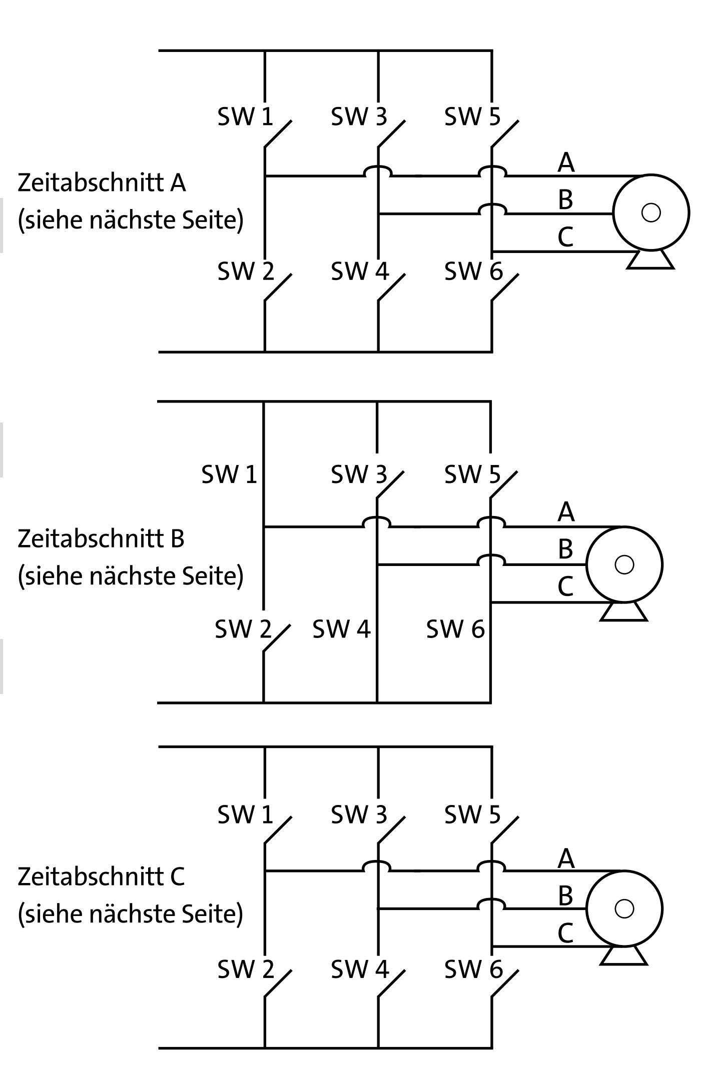
Die an den Motor über die Schalterstellung angelegte Spannung ist im zweiten Diagramm:

$$U_A - U_B = 283\ V - (-283\ V) = 566\ V$$

Für die Schalterstellung im dritten Diagramm ergibt sich die an den Motor weitergeleitete Spannung zu:

$$U_A - U_B = 0\ V$$

3 verschiedene Schaltzustände der Schalter im Wechselrichter



Funktionsprinzip des Wechselrichters



Ausgangsimpulse vom Wechselrichter

Eine andere Möglichkeit die Ausgangsimpulse vom Wechselrichter darzustellen, zeigt das Diagramm auf der rechten Seite.

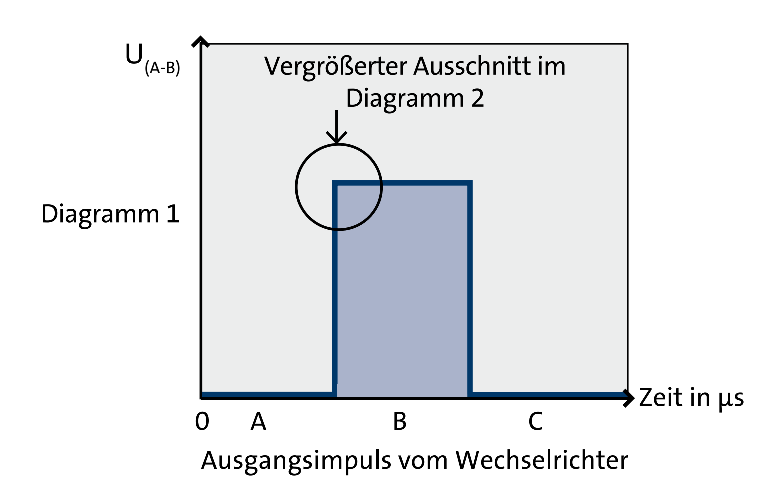
Bei genauer Betrachtung des Impulsdiagramms wird das grundlegende Funktionsprinzip eines Frequenzumrichters deutlich. Ein Frequenzumrichter erzeugt nach einem bestimmten Muster eine Reihe von Impulsen zwischen den drei Ausgangsphasen, mit denen der Stator beaufschlagt wird. Die Ausgangsspannung (Effktivwert) der Impulse entspricht der aktuellen Ausgangsfrequenz. Der Effektivwert der Ausgangsimpulse ist von der Impulsdauer abhängig. Längere Impulse bedeuten höhere Spannung. Im nächsten Abschnitt werden die Impulse und die daraus resultierenden Probleme näher betrachtet.

Die Änderung der Ausgangsspannung über die Zeit kann über das Verhältnis ΔU/Δt oder mathematisch wie folgt ausgedrückt werden: dU/dt. Im ersten und zweiten Diagramm geht der Ausdruck dU/dt gegen unendlich. Dies ist in der Praxis jedoch nicht der Fall. Denn das Umschalten benötigt Zeit. Als Schalter werden im Wechselrichter Halbleiter eingesetzt. Es dauert eine bestimmte Zeit, damit die Halbleiter vom nicht-leitenden in den leitenden Zustand wechseln. Beim realen Umschalten nimmt der Ausdruck dU/dt somit einen bestimmten, endlichen Wert an.

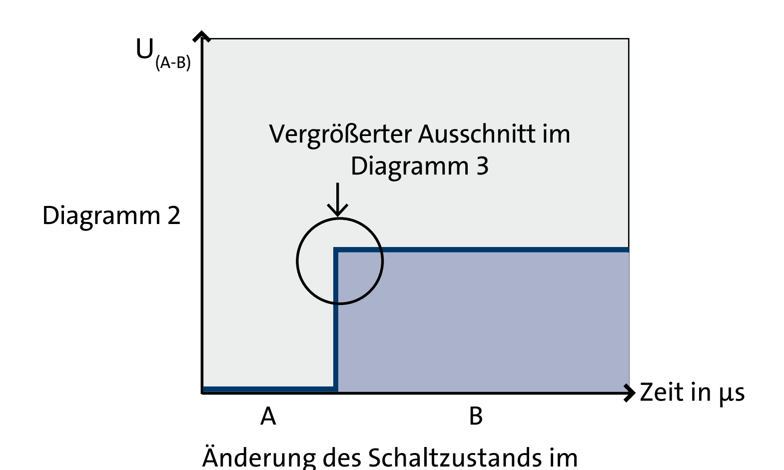
Werden beispielsweise die Daten aus dem vorherigen Abschnitt herangezogen und beträgt die Schaltzeit z.B. 0,3 µs, dann ist

$$dU/dt = 565\ V / 0.3\ \mu s = 1883\ V/\mu s$$

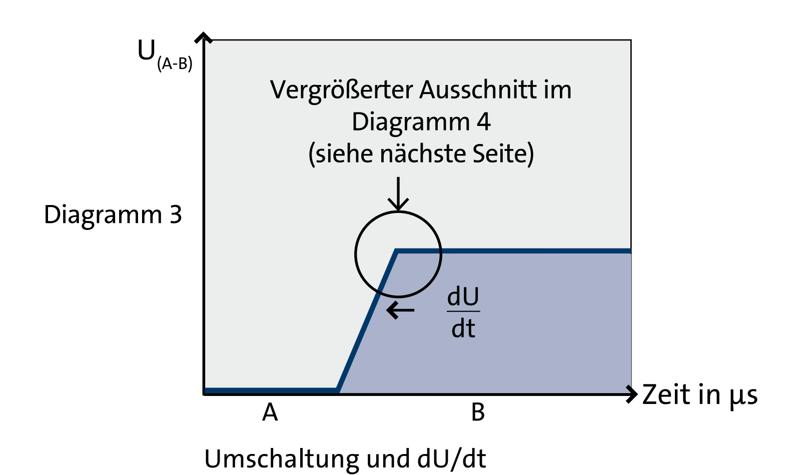
Das Verhältnis dU/dt ist abhängig von den Komponenten, die im Frequenzumrichter eingebaut sind.
Die Hersteller von Frequenzumrichtern sind bestrebt, die Schaltzeit zu minimieren, um so die Verluste im Innern des Frequenzumrichters zu reduzieren. Es wird erwartet, dass die Werte für dU/dt zukünftig ansteigen werden, weil ein gleichbleibend großer Bedarf an Frequenzumrichtern mit kleinen Abmessungen besteht. Und eine Möglichkeit, Frequenzumrichter kleiner zu bauen, ist die Leistungsverluste zu minimieren. Ein hoher dU/dt-Wert hat jedoch auch Auswirkungen auf das Isolationssystem im Motor.



Ausgangsimpuls vom Wechselrichter



Änderung des Schaltzustands im Wechselrichter



Umschaltung und dU/dt

Der Wert dU/dt nimmt mit der Kabellänge ab. Je länger das Kabel zwischen dem Frequenzumrichter und dem Motor ist, desto niedriger ist der dU/dt-Wert. Der Grund dafür ist, dass über das Kabel eine Induktivität im Kreis erzeugt wird, die Einfluss auf den dU/dt-Wert hat.
Im nachfolgenden Abschnitt werden Filter vorgestellt, die den dU/dt-Wert reduzieren. Diese Filter werden hauptsächlich dazu eingesetzt, den Motor vor zu hohen dU/dt-Werten und Spannungsspitzen U_{Spitze} zu schützen.

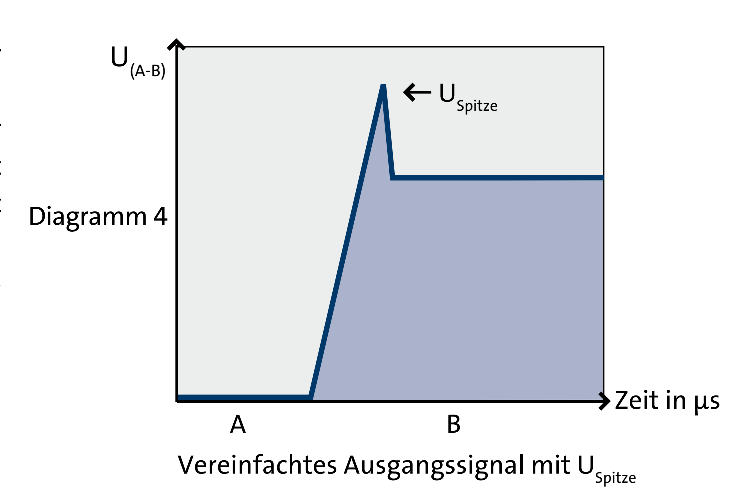
Die Spitzenspannung U_{Spitze} ist ein weiterer Faktor, der Einfluss auf die Lebensdauer des Isolationssystems im Motor hat. Die Diagramme auf der vorherigen Seite zeigen die Ausgangsspannung des Frequenzumrichters unter idealen Bedingungen. In realen Anwendungen verbindet jedoch ein Kabel den Frequenzumrichter mit dem Motor. Dieses Kabel beeinflusst die Ausgangsspannung des Frequenzumrichters.

Die Spitzenspannung U_{Spitze} wird durch die vorhandene Kapazität im Kabel verursacht. Die Spitzenspannung U_{Spitze} kann einen sehr hohen Wert annehmen. Jedes Mal, wenn der Wechselrichter einen Impuls aussendet, wird das Isolationssystem des Motors mit dieser hohen Spannung belastet und zwar bis zu 1000 Mal pro Sekunde. Bis zu einem gewissen Grad hängt auch die Höhe der Spitzenspannung U_{Spitze} von der Kabellänge ab, weil die im Kabel gespeicherte Kapazität mit der Kabellänge zunimmt.

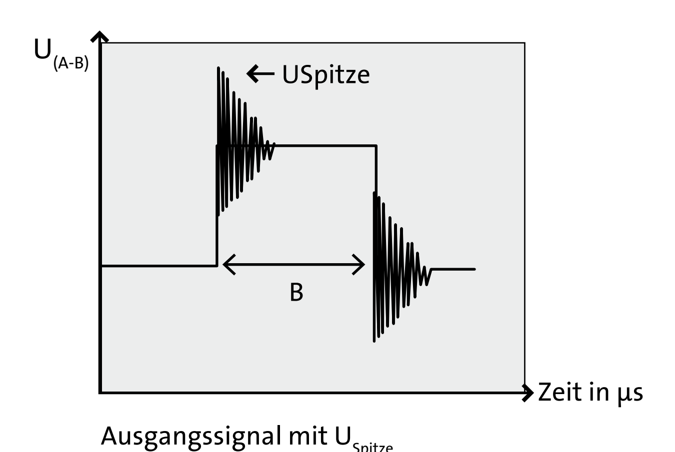
Die Spitzensspannung U_{Spitze} stellt in der Regel kein Problem dar, solange das Kabel, das den Frequenzumrichter und den Motor verbindet, nicht zu lang ist (weniger als 15 – 20 m).

Auf den vorherigen Seiten wurde dargestellt, dass das Problem bei über Frequenzumrichter angetriebenen Motoren darin besteht, dass die tatsächliche Ausgangsspannung aus einer Reihe von Impulsen gebildet wird. Dadurch wird das Isolationssystem des Motors stark belastet, weil der Anstieg dU/dt und die Spitzenspannung U_{Spitze} hohe Werte annehmen. Auf den nachfolgenden Seiten wird deshalb beschrieben, wie die Belastung des Motorisolationssystems reduziert werden kann.

Diagramm 4



Vereinfachtes Ausgangssignal mit U_{Spitze}



Ausgangssignal mit U_{Spitze}

Ausgangsfilter für Frequenzumrichter

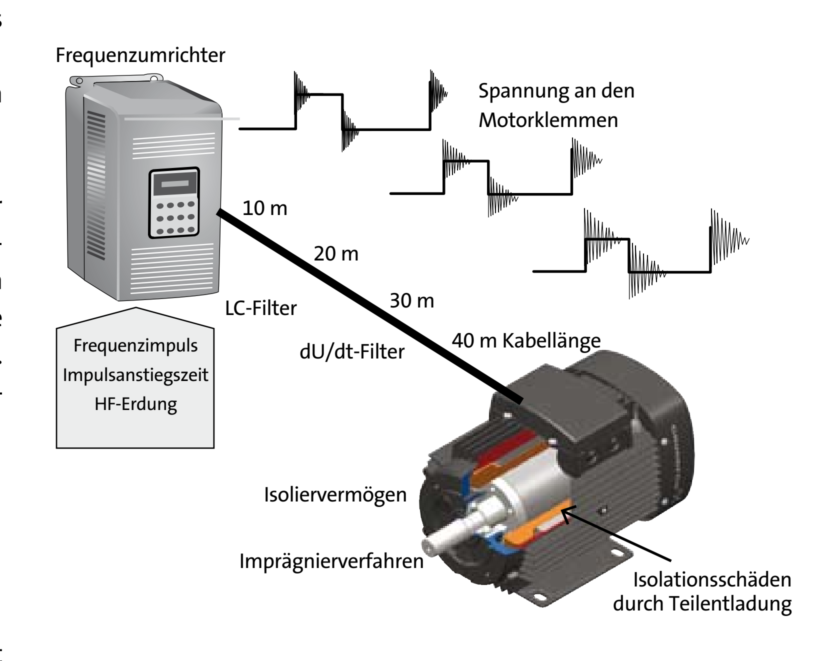
Ein Filter auf der Ausgangsseite des Frequenzumrichters reduziert die Belastung des Motorisolierung.
Es gibt eine Reihe von unterschiedlichen Arten von Ausgangsfiltern.

Die Hauptaufgabe der Ausgangsfilter für Frequenzumrichter ist den Wert dU/dt und die Spitzenspannung U_{Spitze} zu senken. Werden diese beiden Werte abgesenkt, ändert sich der zuvor quadratische Kurvenverlauf zu einer mehr sinusförmigen Wellenform. Die Reduzierung des Werts dU/dt kann mit Hilfe unterschiedlicher Filter erfolgen:

- Ausgangsdrossel (auch als Motorspule bezeichnet)
- LC-Filter

Der normale Weg den Wert dU/dt zu senken, ist irgendeine Art von Drossel in Reihe mit den Motorwicklungen zu schalten. Um die Filterleistung zu verbessern, können dann zusätzliche Komponenten, wie z.B. Kondensatoren, in das System eingefügt werden. Sinkt der Wert für dU/dt, sinkt auch die Spitzenspannung U_{Spitze}. Auf diese Weise wird die Gefahr des Überschwingens (USpitze) auf ein Minimum reduziert, weil sich das Kabel langsamer auflädt und entlädt. Der Einbau eines Filters auf der Ausgangsseite hat jedoch einige Auswirkungen, auf die auf den nächsten Seiten näher eingegangen wird.

Ein Ausgangsfilter führt zu einem Leistungverlust. Die Höhe der Verluste ist abhängig von der Schaltfrequenz des Frequenzumrichters. Wird ein Ausgangsfilter angeschlossen, wird die Schaltfrequenz in der Regel gesenkt, um die Leistungsverluste zu reduzieren. Trotzdem hat der Einbau eines Ausgangsfilters immer Einfluss auf den Gesamtwirkungsgrad des Systems. Denn es gibt keinen Filter, der ganz ohne Verluste arbeitet. Angaben zur maximalen Schaltfrequenz für Ausgangsfilter sind in den entsprechenden Betriebsanleitungen und Datenheften zu finden.



Gründe für Überspannungsprobleme, die aufgrund von Teilentladungen zur Beschädigung der Motorisolierung führen können

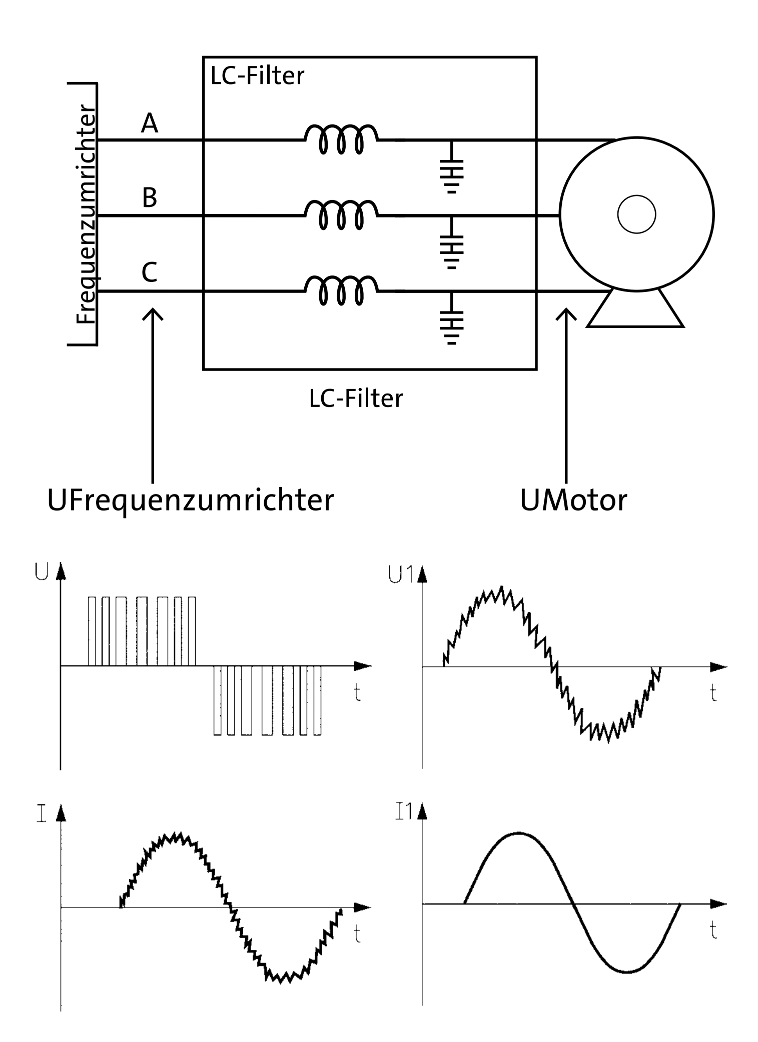
Ausgangsfilter für Frequenzumrichter

Ein Ausgangsfilter verursacht einen Spannungsverlust (Spannungsabfall entlang der Drossel) zwischen dem Frequenzumrichter und dem Motor. In diesem Fall ist die Motorspannung kleiner als ohne Filter. Im Normalfall stellt dies kein Problem dar. Dennoch kann die Ausgangsspannung eines Frequenzumrichters niemals größer als die Eingangsspannung sein. Der Einbau eines Ausgangsfilters führt somit in solchen Fällen immer zu einem zusätzlichen Spannungsabfall. Der Motor zieht dann einen etwas höheren Strom aus dem Frequenzumrichter und der Schlupf im Motor steigt an. Dadurch sinkt die Pumpenleistung.

Durch die Umwandlung quadratischer Impulse in einen mehr sinusförmigen Impuls machen Ausgangsfilter für Frequenzumrichter Geräusche. Die Drosseln im Filter werden mit der Schaltfrequenz des Frequenzumrichters beaufschlagt. Durch diesen Aufbau entstehen zwangsläufig Geräusche. Die Geräusche werden von den Kräften verursacht, die auf die Drosseln wirken, wenn die Spannung in eine quadratische Wellenform umgewandelt wird. Viele Ausgangsfilter sind gekapselt, um den Geräuschpegel zu reduzieren und die Wärmeleistung des Filters zu verbessern. Nach dem Einbau des Ausgangsfilters kann sich der Geräuschpegel etwas verändern.

Bei Ausgangsfiltern mit Kondensatoren, die mit der Erde verbunden sind, tritt ein weiteres Problem auf, das bei der Gestaltung der Anwendungslösung beachtet werden muss. Der Ableitstrom kann sich wegen der größeren Kapazität, die sich in Richtung Erde aufbaut, erhöhen. Dies kann auch Auswirkungen auf den installierten Motorschutzschalter haben.

In der Regel lässt sich dieses Problem erkennen, wenn die Einschalttaste am Frequenzumrichter zum ersten Mal gedrückt wird. Der Grund: Die Kondensatoren im Ausgangsfilter werden erst aufgeladen, wenn der Frequenzumrichter eine Ausgangsspannung erzeugt. Das bedeutet, dass der Ableitstrom erst ansteigt, wenn der Wechselrichter Ausgangsimpulse generiert. Und dies geschieht erst nach dem Einschalten des Frequenzumrichters.



Gründe für Überspannungsprobleme, die aufgrund von Teilentladungen zur Beschädigung der Motorisolierung führen können

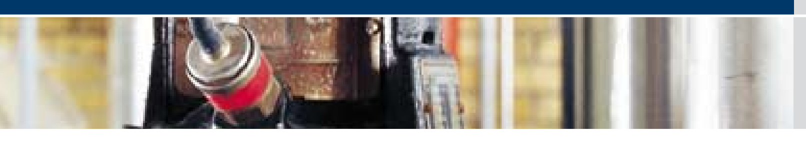
Ausgangsfilter für Frequenzumrichter

Wichtig ist, dass ein Motorschutzschalter installiert ist, der den Anstieg des Ableitstroms handhaben kann, ohne auszulösen. Die Hersteller von LC-Filtern sollten Informationen zum Ableitstrom geben oder einen geeigneten Motorschutzschalter empfehlen können.

Abschließend wird nun der Einbau eines Ausgangsfilters behandelt. Die Ausgangsfilter sind entsprechend der Vorgaben des Herstellers zu installieren. Diese Vorgaben enthalten Empfehlungen hinsichtlich der zu verwendenden Kabel und der Kabellänge sowie Angaben zu der maximal zulässigen Umgebungstemperatur und Schaltfrequenz, dem maximal zulässigen Motorstrom und weiteren Parametern. Um die benötigte Leistung zu erhalten, sind die Anweisungen der Hersteller sorgfältig zu lesen und zu befolgen.

Gibt es Zweifel darüber, wie die Ausgangsfilter für Frequenzumrichter zu handhaben sind, sollte der Hersteller des Frequenzumrichters um Rat gefragt werden. Zur Beantwortung der Fragen benötigt er Informationen zur Motorgröße oder maximalen Belastung, dem max. zulässigen Wert für dU/dt und der Spitzenspannung U_{Spitze} sowie zu anderen anwendungsspezifischen Daten. Der Hersteller wird dann eine geeignete Lösung für das Problem finden.





Lagerströme in Verbindung mit dem Frequenzumrichterbetrieb

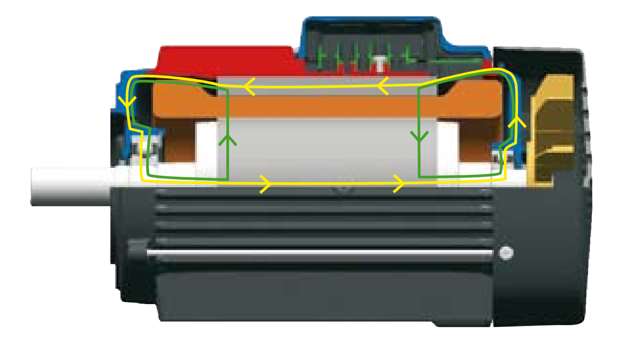
In den letzen Jahren haben die Motorprobleme in Verbindung mit Wellenspannungen und -strömen stark zugenommen. Spannungsentladungen infolge von Strömen, die durch die Lager fließen, können zu Schäden an den Lagern oder zum Ausfall der Lager führen, wenn diese nicht ausreichend isoliert sind.

Wellenspannungen wurden lange Zeit nur mit mitteleren und großen Motoren ab 250 kW in Verbindung gebracht. Der verstärkte Einsatz von Frequenzumrichtern hat jedoch dazu geführt, dass Wellenspannungen auch in sehr viel kleineren Motoren auftreten und zwar bei Motoren mit 75 - 250 kW oder sogar bei noch kleineren Motoren.

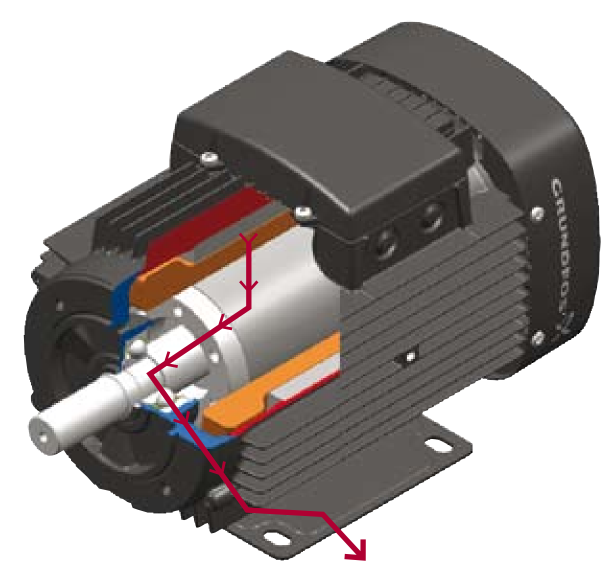
Theoretisch ist die an den Motorklemmen anliegende Spannung nicht im vollen Umfang symmetrisch. Lagerströme in dreiphasigen Wechselstrommotoren werden durch Induktionsströme in der Welle verursacht, die von asymmetrischen Statorwicklungen herrühren. In der Regel sind diese jedoch zu vernachlässigen.

Doch durch Oberschwingungen und Asymmetrien in der Wechselrichterspannung, falsche Kabellänge und Erdung zwischen Wechselrichter und Motor können Rotorspannungen auftreten, die zu Ableitströmen in den Motorlagern führen können. Diese Ableitströme werden auch als Lagerströme bezeichnet. Diese Lagerströme können zu vorzeitigen Lagerschäden und zum Ausfall der Lager führen. Betroffen ist auch die Fettfüllung. Treten Lagerströme ständig auf, bilden sich Riefen im Außen- und Innenring, die den Verschleiß beschleunigen und die Lebensdauer der Lagers verkürzen.

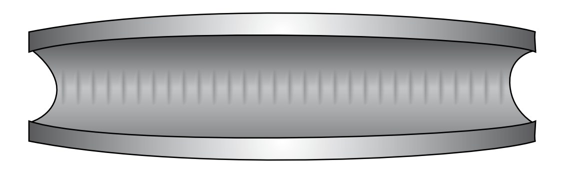
Bei kleinen Motoren müssen in der Regel sowohl auf der Antriebsseite als auch auf der Nicht-Antriebsseite isolierte Lager oder Keramiklager eingebaut werden, um die zumeist geringen Lagerströme zu unterbinden. Größere Motoren hingegen sind nur auf einer Seite mit einem isolierten Lager oder Keramiklager ausgerüstet, um die sehr viel höheren Lagerströme auszuschalten.



Entweder in einem großen Kreis durch beide Lager oder in einem kleinen Kreis durch jedes einzelne Lager umlaufender Lagerstrom.



Welle zum Erden der Lagerströme



Rillen auf der Laufbahn des Außenrings durch konstant anliegende Lagerströme



Sonderlager

Mit Hilfe von Frequenzumrichtern kann die Drehzahl eines Motors geregelt und dadurch die Pumpendrehzahl an den Bedarf angepasst werden. Bei über Frequenzumrichter geregelte Motoren können jedoch Ableitströme auftreten, so dass in den Lagern elektrische Lichtbögen entstehen, die zum Ausfall des betroffenen Lagers führen können. Um dies zu verhindern, werden der Innen- und Außenring sowie die Wälzkörper mit einem besonderen Werkstoff beschichtet, der die Leitfähigkeit der Lager herabsetzt. Das Aufbringen der Beschichtung ist jedoch zeitaufwendig und mit hohen Kosten verbunden.

Die neu im Markt eingeführten Lagertypen sind Ableger aus der Flugzeugindustrie, in der die folgenden drei Lagerbauarten eingesetzt werden:

- Hybridlager
- Voll-Keramiklager
- Keramikbeschichtete Lager

Auf dieser und der nächsten Seite werden diese Lagerarten ausführlich vorgestellt.

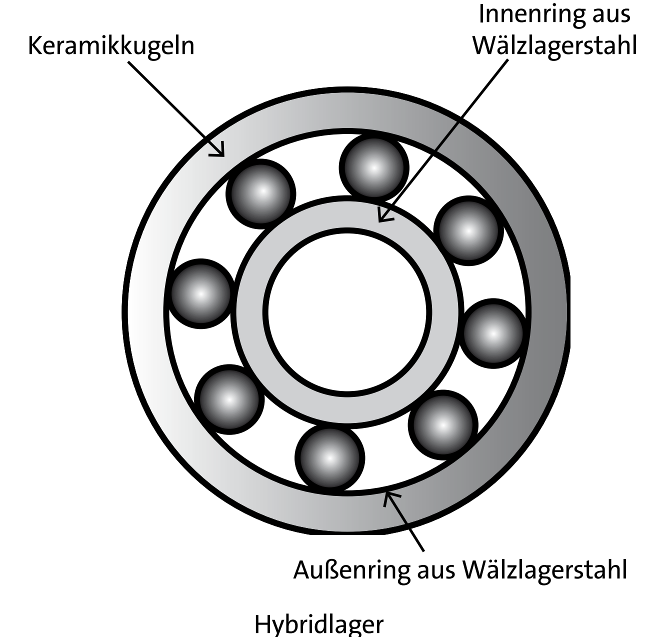
Hybridlager

Die Laufrillen von Hybridlagern sind aus herkömmlichem Wälzlagerstahl und die Lagerkugeln aus Keramik (in der Regel Siliziumnitrid) gefertigt. Im Vergleich zu Stahllagern besitzen Hybridlager folgende Vorteile:

- Höhere Drehzahlen und Genauigkeit
- Längere Gebrauchsdauer

Die Vorteile sprechen für sich selbst. Deshalb kommen Hybridlager immer häufiger in einer Vielzahl von technischen Anwendungen zum Einsatz.

Sie sind jedoch sehr viel teurer als Standardlager. Auch wenn Hybridlager zunehmend kostengünstiger werden, sind sie nicht immer die wirtschaftlichste Lösung.



Hybridlager

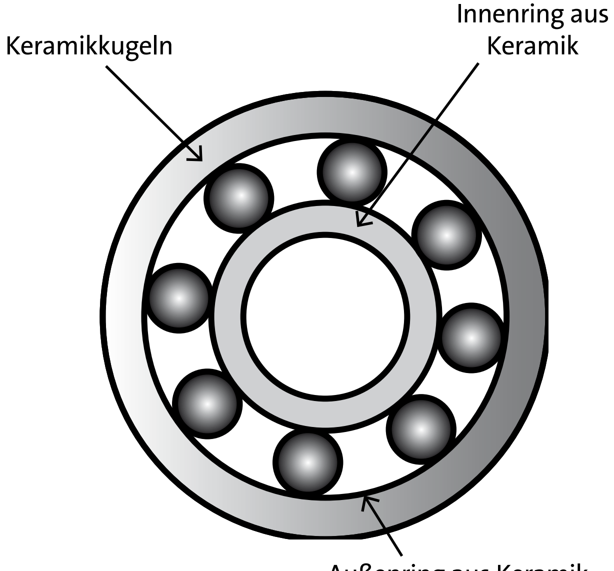


Voll-Keramiklager

Voll-Keramiklager werden - wie der Name besagt - vollständig aus einem Keramikwerkstoff gefertigt. Sie bieten folgende Vorteile:

- Besonders hoher elektrischer und magnetischer Widerstand
- Hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit
- Schmier- und wartungsfrei besonders in Hoch- und Tieftemperaturanwendungen
- Widerstandsfähig gegenüber aggressiven Umgebungen

Voll-Keramiklager sind für kleine Motoren in allen Größen lieferbar.



Voll-Keramiklager

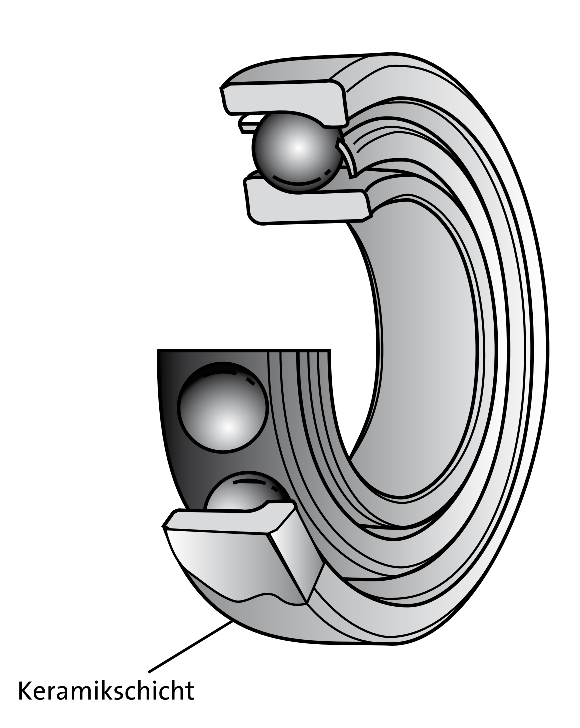
Isolierte Lager - keramikbeschichtete Lager

Bei dieser Lagerbauart wird entweder der Außenring oder der Innenring mit einer Keramikschicht überzogen. Die Kugeln sowie der Innen- und Außenring sind aus Stahl gefertigt. Der Keramiküberzug wird nur auf der Außenseite von einem der Ringe aufgebracht. Isolierte Lager unterscheiden sich von Hybridlagern und Voll-Keramiklagern hinsichtlich der Gebrauchsdauer, Temperaturbeständigkeit und Steifigkeit. Isolierte Lager werden am häufigsten eingesetzt, um bei einem Frequenzumrichterbetrieb einen Lagerausfall durch Lagerströme zu vermeiden.

Die Isolierschicht am Außenring des Lagers besteht aus Aluminiumoxid, das im Plasmaspritzverfahren aufgebracht wird. Diese Art der Beschichtung kann einer dielektrischen Durchschlagspannung von 1000 V standhalten.

Elektrisch isolierte Lager gibt es in vielen Ausführungen. Zu den am häufigsten vertretenen Lagerbauarten gehören Zylinderrollenlager und Rillenkugellager, deren Außendurchmesser durchaus 75 mm übersteigen können. Dies entspricht einer Basiskennzeichnung größer 6208.

Wie Hybrid- und Keramiklager sind auch isolierte Lager teurer als Standardlager, auch wenn der Preisunterschied immer kleiner wird. Bei über Frequenzumrichter geregelten Motoren ab der Baugröße 250 werden isolierte Lager immer häufiger standardmäßig auf der Nicht-Antriebsseite eingebaut.



Isolierte Lager - keramikbeschichtete Lager

Vorsichtsmaßnahmen beim Frequenzumrichterbetrieb

Im Zusammenhang mit Vorsichtsmaßnahmen in Verbindung mit dem Frequenzumrichterbetrieb wird zwischen vier Motorbauarten unterschieden:

- Motoren ohne Phasenisolierung zwischen den Wicklungen und dem Spulenende
- Motoren mit Phasenisolierung zwischen den Wicklungen und dem Spulenende
- Motoren mit verstärkter Phasenisolierung
- Motoren mit Lagerisolierung

Nachfolgend werden die vier Motorbauarten kurz vorgestellt.

Motoren ohne Phasenisolierung

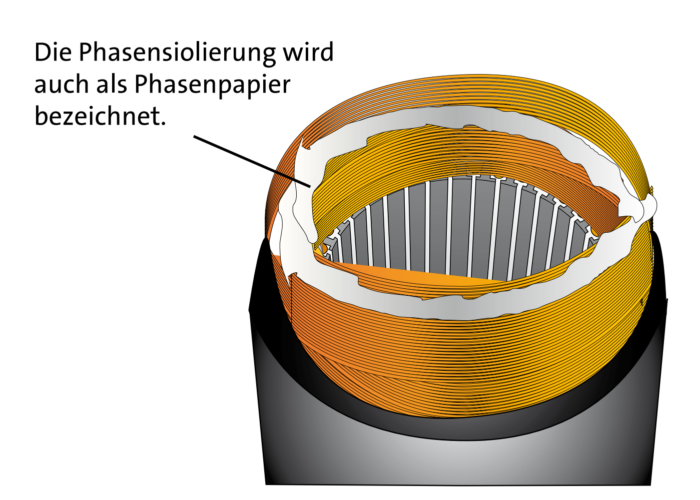
Bei Motoren, die nach modernen Gesichtspunkten konstruiert sind und keine Phasenisolierung besitzen, steigt die Gefahr von schädlichen Entladungen in den Wicklungen, wenn die Effektivspannung kontinuierlich oberhalb von 460 V liegt. Diese Entladungen können den Motor schädigen. Dies gilt für alle modernen Motoren, die ohne Phasenisolierung gebaut werden. Dauerbetrieb mit Spannungsspitzen über 650 V führt unweigerlich zu Schäden am Motor. Die Normmotoren der Baugröße MG 71 und MG 80 bis einschließlich 415 V, 50 Hz oder 440 V, 60 Hz verfügen über keine Phasenisolierung.

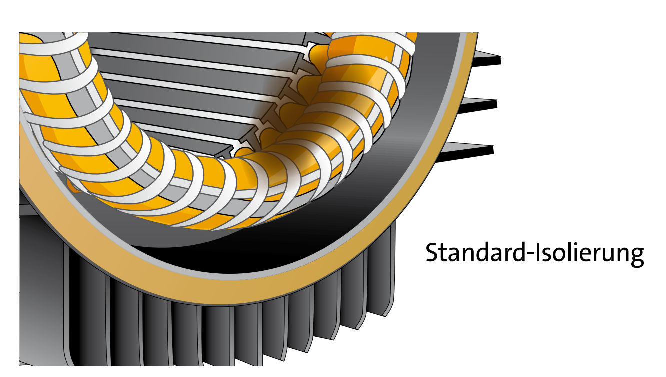
Motoren mit Phasenisolierung

Dreiphasige Grundfos Motoren vom Typ MG und MMG sowie einige Ausfürungen der Motorbaureihen MG 71 und MG 80 besitzen eine Phsaenisolierung, so dass keine besonderen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden müssen.

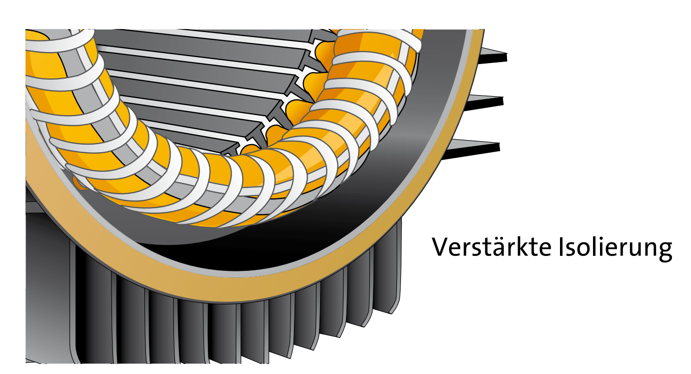
Motoren mit verstärkter Isolierung

In Verbindung mit Versorgungsspannungen zwischen 500 und 690 V muss der Motor mit einer verstärkten Isolierung ausgerüstet sein oder über einen dU/dt-Filter geschützt werden. Bei Versorgungsspannungen über 690 V muss der Motor über eine verstärkte Isolierung verfügen und zusätzlich ein dU/dt-Filter vorgesehen werden.





Diese Art von Motorschaden tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit bei Normmotoren auf, die von einem Frequenzumrichter angetrieben werden und wenn die Spannung mehr als 500 V beträgt.



Unterschied zwischen verstärktem Isolationssystem und Standard-Isolationssystem



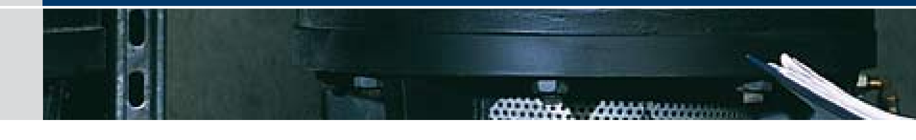
Empfehlungen

Allgemein müssen alle Komponenten einer auf einen Frequenzumrichter aufbauenden Lösung auf die Anwendung abgestimmt sein. Die Sicherungen müssen die richtige Größe besitzen - nicht zu klein und nicht zu groß. Der Motorschutzschalter muss speziell für den Einsatz in Verbindung mit einem Frequenzumrichter ausgelegt sein. Wird ein Ausgangsfilter verwendet, ist zu beachten, dass der Ableitstrom etwas höher sein kann. Der Ausgangsfilter sollte zum Frequenzumrichter und der Frequenzumrichter zur Motorgröße passen.

Um eine geringe Leistungsausbeute und einen niedrigen Wirkungsgrad zu vermeiden, sollten keine großen Frequenzumrichter für kleine Motoren verwendet werden. Weiterhin ist ein Ausgangsfilter einzubauen, der auf den Frequenzumrichter abgestimmt ist. Fragen zum Frequenzumrichter beantwortet der Hersteller. Er berät auch bei der Auswahl der richtigen Komponenten für die entsprechende Anwendung. Die Einbauanweisungen des Herstellers sind unbedingt zu befolgen!


GRUNDFOS

9. Installation



Maßnahmen bei Anlieferung

Auch wenn es eine Selbstverständlichkeit sein sollte, wird es doch immer wieder vergessen: Bei Anlieferung eines Motors, ist dieser sofort einer Sichtprüfung zu unterziehen. Hier ist vor allem zunächst auf äußere Beschädigungen zu achten. Ist eine Beschädigung zu erkennen, ist der Lieferant unverzüglich darüber zu informieren.

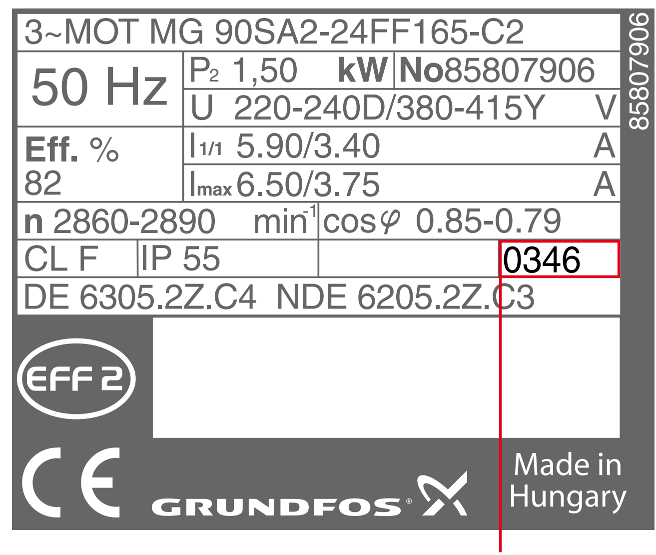
Weiterhin sind die Daten auf dem Typenschild mit den Bestelldaten zu vergleichen. Dies gilt besonders für die Spannung und den Wicklungsanschluss (Stern oder Dreieck). Bei explosionsgeschützten Motoren ist auch auf die Gerätekategorie, die Schutzart und die Temperaturkennzeichnung zu achten. Stimmen die Daten auf dem Typenschild mit den Bestelldaten überein, ist zu prüfen, ob sich die Motorwelle frei von Hand drehen lässt und nicht blockiert ist.



Lagern des Motors

Es ist nicht unerheblich, wie der Motor vor dem Einbau gelagert wird. So sind je nach Motortyp mehrere Regeln zu befolgen, um den Motor ausreichend zu schützen.

- Der Motor ist in einem trockenen, vibrations- und staubfreien Raum zu lagern.
- Ungeschützte Motorenbauteile, wie z.B. Wellenenden und Flansche, sind gegen Korrosion durch Auftragen eines Korrosionsschutzmittels oder von Fett zu schützen.
- Durch regelmäßiges Drehen der Welle von Hand wird verhindert, dass sich das Fett umverteilt und sich aufgrund der langen Stillstandszeiten Ablagerungen an den Laufflächen der Kugellager bilden.
- Lager von Motoren, die längere Zeit gelagert oder außer Betrieb genommen wurden, können beim Einschalten ungewöhnliche Geräusche verursachen. Der Grund für die Geräusche ist, dass das Lagerfett noch nicht erwärmt ist und sich noch nicht im gesamten Lager verteilt hat. In den meisten Fällen verschwinden diese Laufgeräusche nach dem Erwärmen des Lagerfetts von allein wieder, sobald sich das Fett wieder überall gleichmäßig verteilt hat.

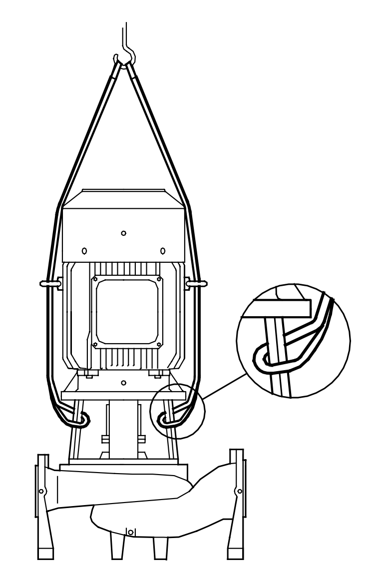


Jahr (03) - Woche (46)

Anheben des Motors

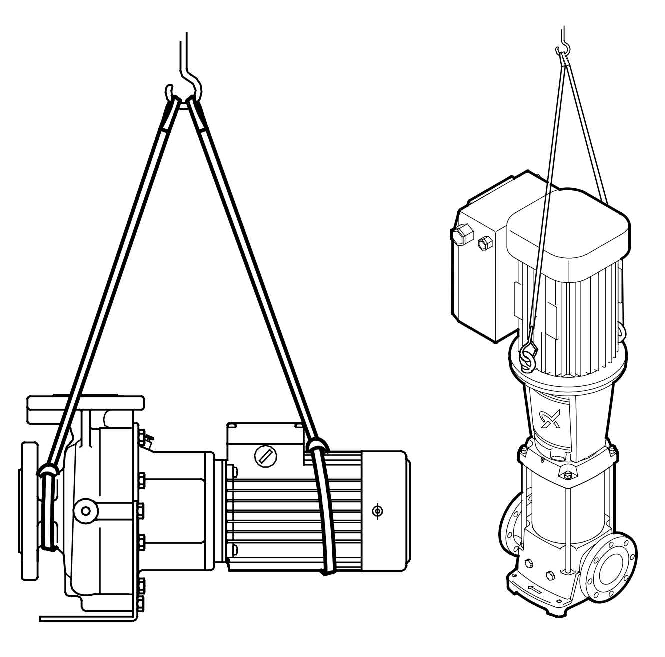
Um Schäden an den Lagern beim Anheben des Motors zu vermeiden, ist Folgendes zu beachten:

- Den Motor niemals an der Welle anheben.
- Den Motor nur an den dafür vorgesehenen Tragösen anheben.
- Das auf dem Motortypenschild oder in der Montage- und Betriebsanleitung angegebene Gewicht beachten.
- Den Motor vorsichtig und gleichmäßig anheben, so dass die Lager nicht beschädigt werden.
- Die am Motorgehäuse angebrachten Tragösen nur zum Anheben des Motors verwenden.



Lesen des Motortypenschilds

Wer hat sich nicht schon einmal über die zahlreichen Informationen auf dem Typenschild eines Wechselstrommotors gewundert? Deshalb wird in diesem Abschnitt die Bedeutung der verschiedenen Angaben auf dem Motortypenschild erläutert. Die Daten lassen sich in sechs Hauptgruppen unterteilen: Elektrische Eingangsdaten, mechanische Ausgangsdaten, Leistungsdaten, Daten die die Sicherheit und die Zuverlässigkeit betreffen und konstruktive Daten.

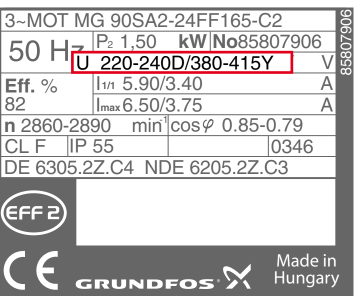


In der Montage- und Betriebsanleitung ist beschrieben, wie das komplette Pumpenaggregat (Pumpe und Motor) korrekt angehoben werden.



Elektrische Eingangsdaten

Spannung
Diese Angabe gibt Auskunft darüber, mit welcher Spannung der Motor betrieben werden kann. Die weiteren auf dem Typenschild angegebenen Werte für den Phasenwinkel, den Wirkungsgrad, das Drehmoment, den Strom, usw. beziehen sich immer auf die Nennspannung und Nennfrequenz. Wird der Motor mit einer anderen Spannung als auf dem Typenschild angegeben betrieben, ändert sich die abgegebene Leistung.



Spannung

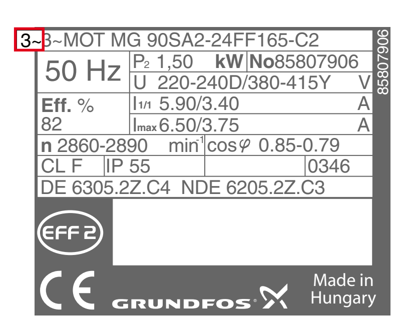
Frequenz
In der Regel beträgt die Eingangsfrequenz bei Motoren 50 oder 60 Hz. Ist mehr als eine Frequenz auf dem Typenschild angegeben, müssen auch die Werte der Parameter mit aufgeführt werden, die sich bei den unterschiedlichen Eingangsfrequenzen ändern.



Frequenz: 50 Hz und 60 Hz

Phase
Dieser Parameter gibt bei einem Wechselstrommotor die Anzahl der Leiter an, die den Motor mit Spannung versorgen. Standardmäßig gibt es einphasige und dreiphasige Motoren.

Strom
Der auf dem Typenschild angegebene Strom ergibt sich aus der Nennausgangsleistung bei vorhandener Spannung und Frequenz. Der tatsächliche Strom kann von den Angaben auf dem Typenschild abweichen, wenn eine Phasenasymmetrie besteht oder die Spannung niedriger als angegeben ist.



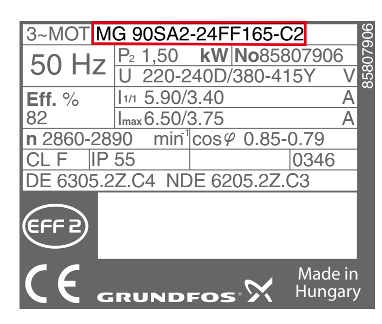
dreiphasig



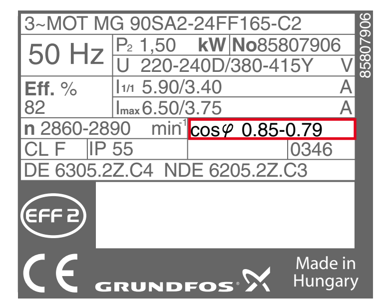
Strom

Typenbezeichnung
Bei einigen Herstellern kann aus der Typenbezeichnung die Motorbauart abgeleitet werden. Außerdem kann die Typenbezeichnung Informationen darüber enthalten, ob es sich um einen ein- oder mehrpoligen, ein- oder dreiphasigen oder einen drehzahlgeregelten Motor handelt. Für die Typenbezeichnung gibt es jeoch keine Industrienorm. Grundfos verwendet folgende Typenbezeichnung: MG90SA2-24FF165-C2

Phasenwinkel
Der Phasenwinkel ist auf dem Typenschild als “PF”, “P.F” oder cos φ gekennzeichnet. Er drückt das Verhältnis von Wirkleistung (W) zur Scheinleistung (VA) in Prozent aus. Der Phasenwinkel ist somit gleichbedeutend mit dem Nacheilungswinkel des Eingangsstroms bezogen auf die Spannung. Auf dem Motortypenschild ist der Phasenwinkel für den Motor bei Nennlast aufgeführt.



Typenbezeichnung



Phasenwinkel cos φ
(auch cos θ)



Mechanische Ausgangsdaten

kW oder PS

Die mechanische Motornennleistung wird in kW oder PS angegeben. Sie informiert darüber, ob der Motor das zum Antreiben der Last erforderliche Drehmoment bei Nenndrehzahl aufbringen kann.

Nenndrehzahl

Die Nenndrehzahl ist die Drehzahl, bei der das Nennmoment bzw. die Motornennleistung abgegeben wird. In der Regel wird die Nenndrehzahl in U/min angegeben. Sie wird manchmal auch als Schlupfdrehzahl oder tatsächliche Rotordrehzahl bezeichnet.

Leistungsdaten

Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad ist definiert als das Verhältnis von Ausgangsleistung zur Eingangsleistung mal 100. Der Wert wird in Prozent angegeben. Der Wirkungsgrad wird vom Hersteller innerhalb eines bestimmten Toleranzbandes zugesichert. Das Toleranzband ist abhängig von der angewendeten Norm (IEC oder NEMA). Bei der Bestimmung der Motorleistung ist deshalb hinsichtlich des zugesicherten Wirkungsgrades Vorsicht geboten.

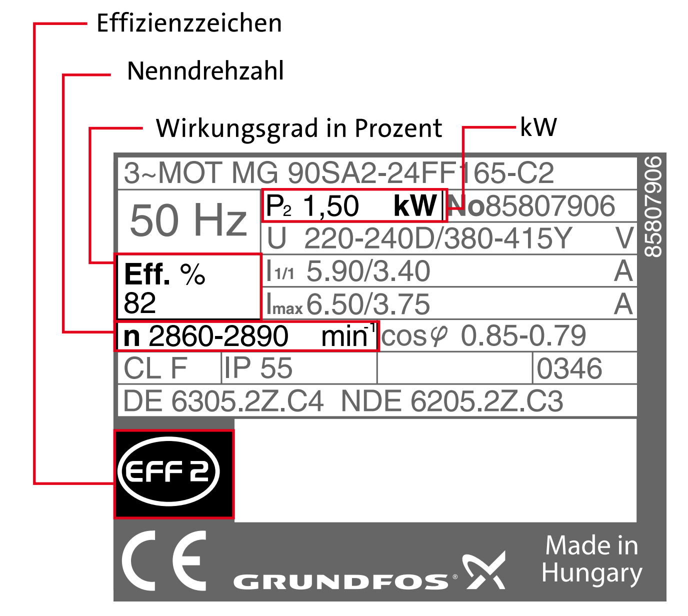
Betriebsart

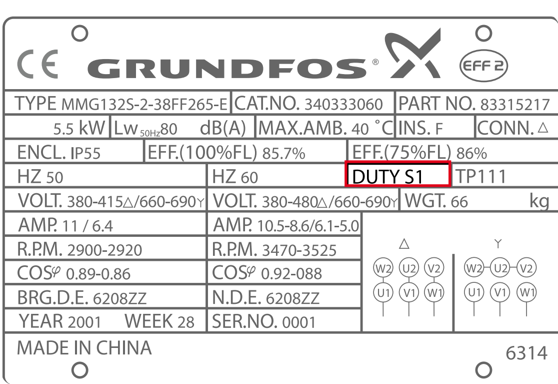
Dieser Parameter gibt die Zeitdauer an, die der Motor die auf dem Typenschild angegebenen Leistungsdaten sicher erbringen kann. In vielen Fällen ist der Motor permanent dazu in der Lage. Dann ist auf dem Typenschild S1 oder „Cont" eingetragen. Fehlt die Angabe auf dem Typenschild, ist der Motor für den Dauerbetrieb S1 ausgelegt.

Daten zur Zuverlässigkeit

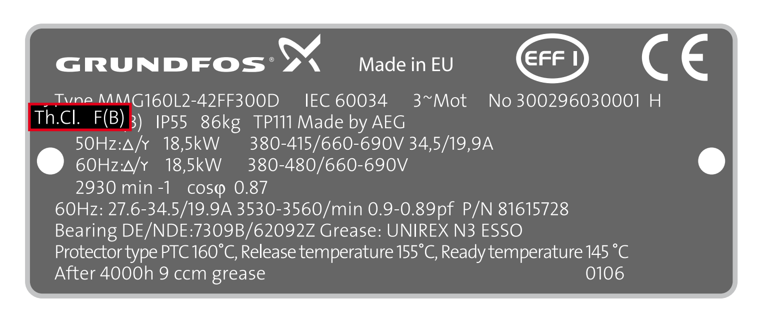
Wärmeklasse

Die Wärmeklasse (INSUL CLASS) beschreibt die thermische Widerstandsfähigkeit von Motorwicklungen. Die Klasseneinteilung ist in einer Norm festgelegt. Die Wärmeklasse wird in Form eines Buchstabens angegeben, wie z.B. „B" oder „F". Die Einteilung erfolgt danach, welcher Betriebstemperatur die Wicklung über eine vorgegebene Zeitdauer standhält. Je weiter hinten im Alphabet der Buchstabe angeordnet ist, desto höher ist die thermische Widerstandsfähigkeit der Wicklungen. So besitzt z.B. eine Isolierung der Wärmeklasse „F" bei vorgegebener Betriebstemperatur eine längere Lebensdauer als eine Isolierung der Wärmeklasse „B".





Betriebsart

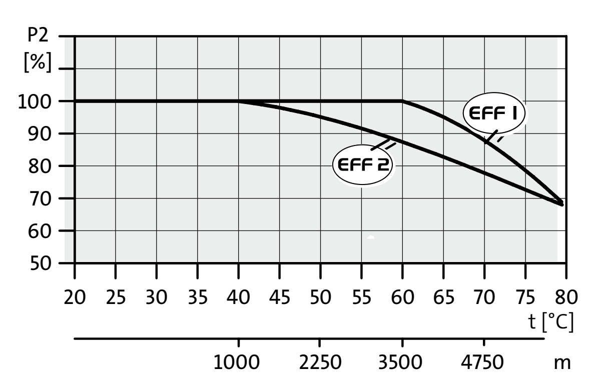


Wärmeklasse CI.F(B) = Wärmeklasse F mit Temperaturanstieg B

Maßnahmen bei Anlieferung

Maximal zulässige Umgebungstemperatur

Manchmal ist auch die maximal zulässige Umgebungstemperatur, bei der der Motor betrieben werden darf, auf dem Typenschild angegeben.
Ohne Angabe darf der Motor in der Regel bei einer Umgebungstemperatur bis maximal 40 °C bei EFF2-Motoren und bis maximal 60 °C bei EFF1-Motoren betrieben werden. Bei der aufgeführten Nenntemperatur läuft der Motor innerhalb der für die Wärmeklasse geltenden Werte.



Das abgebildete Leistungsdiagramm zeigt die Abnahme der Leistung bei erhöhter Umgebungstemperatur oder größerer Aufstellungshöhe über NN.

Aufstellungshöhe

Dieser Wert gibt die maximal zulässige Aufstellungshöhe über NN an, bei der der Motor innerhalb der Werte für den in der Norm festgelegten Temperaturanstieg bleibt und alle auf dem Typenschild aufgeführten Leistungsdaten erbringt.
Ist kein Wert angegeben, beträgt die maximal zulässige Aufstellungshöhe 1000 m über NN.

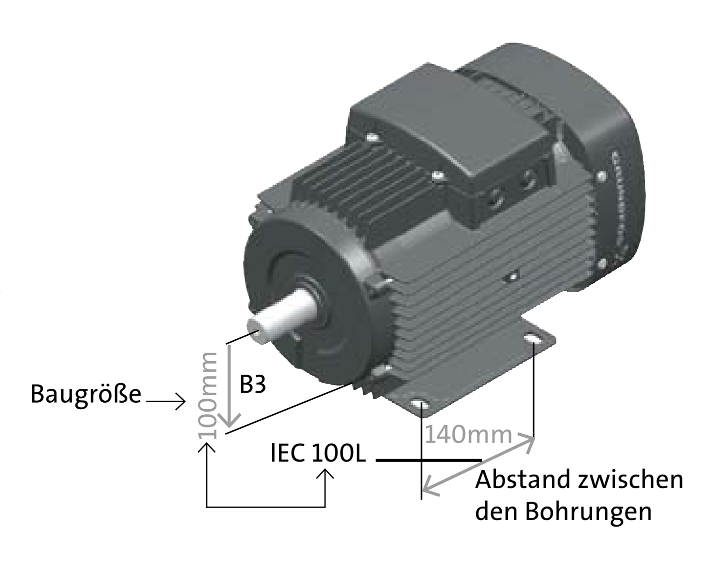
Konstruktive Daten

Schutzart

Die Schutzart gibt an, in welchem Umfang der Motor gegenüber der Umgebung geschützt ist und welches Kühlverfahren angewandt wird. Die Angabe auf dem Typenschild erfolgt in dem Feld IP oder ENCL.

Baugröße

Auch die Baugröße ist eine wichtige Information, die auf dem Typenschild aufgeführt ist. Sie gibt Aufschluss über bestimmte Einbauabmessungen, wie z.B. die Anordnung und Größe der Bohrungen im Standfuß und die Wellenhöhe. Die Baugröße ist häufig in der Typenbezeichnung enthalten. Bei Sonderausführungen mit abweichenden Wellenabmessungen oder Bauformen ist die Typenbezeichnung jedoch häufig schwer zu interpretieren.



Lagerung

Die Lager gehören zu den Komponenten, die bei Wechselstrommotoren am meisten Wartung benötigen. Informationen zu den Lagern und der verwendeten Fettsorte sind für die Antriebsseite (DE) und die Nicht-Antriebsseite (NDE) angegeben.





NEMA

Neben den zuvor erwähnten Angaben enthalten NEMA-Typenschilder einige zusätzliche Informationen. Die wichtigsten davon sind: ein Buchstabencode, ein Ausführungsbuchstabe und ein Betriebsfaktor.

Buchstabencode

Der Buchstabencode definiert den Anlaufstrom kVA bezogen auf einen PS. Verwendet werden die Buchstaben von A bis V. Je höher der Buchstabe im Alphabet angeordnet ist, desto höher ist der Einschaltstrom pro PS.

Ausführungsbuchstabe

Der Ausführungsbuchstabe gibt Aufschluss über das Drehmoment und die Leistungsaufnahme des Motors. Durch den Ausführungsbuchstaben (A, B, C oder D) wird die Zuordnung zu den verschiedenen Kategorien festgelegt. Die meisten Motoren entsprechen der Ausführung A oder B.

Die Drehmomentkurve der Ausführung A ähnelt weitestgehend der Drehmomentkurve von Ausführung B mit dem Unterschied, dass der Einschaltstrom nicht begrenzt ist. Bei Motoren der Ausführung B muss der Hersteller den Einschaltstrom seines Produktes begrenzen, um zu gewährleisten, dass die Betreiber ihre Motorschutzeinrichtungen problemlos verwenden können.

Deshalb muss bei einem Austausch des Motors auf den Ausführungsbuchstaben geachtet werden. Denn einige Hersteller kennzeichnen ihr Produkt mit Buchstaben, die nicht dem Industriestandard entsprechen, so dass es zu Anlaufproblemen kommen kann.

Betriebsfaktor

Ein Motor, der für einen Betrieb mit der auf dem Typenschild angegebenen Nennleistung ausgelegt ist, besitzt den Betriebsfaktor 1,0. Das bedeutet, dass der Motor mit 100 % seiner Nennleistung betrieben werden kann. Einige Anwendungen erfordern jedoch einen Motor, der eine höhere Leistung als die Nennleistung abgeben kann. In diesen Fällen kann ein Motor mit einem Betriebsfaktor von 1,15 verwendet werden, der eine höhere Leistung als die Nennleistung abgibt. Denn ein Motor mit einem Betriebsfaktor von z.B. 1,15 kann mit einer um 15 % höheren Leistung als auf dem Typenschild angegeben betrieben werden.

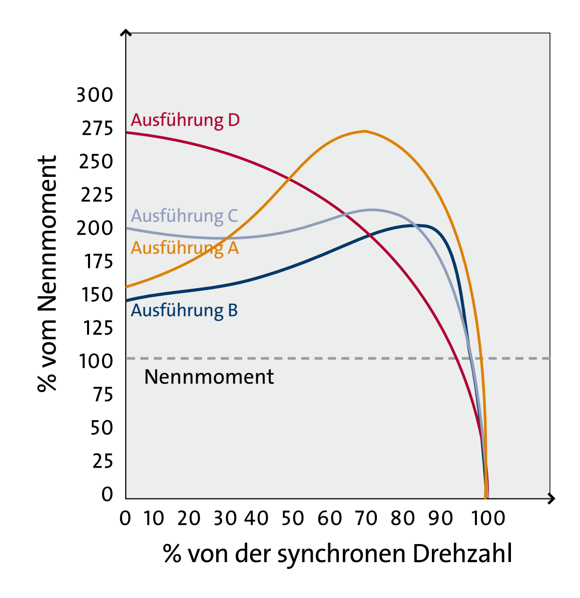
Ein Motor, der ständig mit einem Betriebsfaktor größer 1 betrieben wird, hat jedoch eine geringere Lebensdauer als ein Motor, der nur mit seiner Nennleistung läuft.

NEMA Buchstaben-code	Anlauf-strom kVA/ PS	NEMA Buchstaben-code	Anlauf-strom kVA/ PS
A	0 - 3,15	L	9,0 - 10,0
B	3,15 - 3,55	M	10,0 - 11,2
C	3,55 - 4,0	N	11,2 - 12,5
D	4,0 - 4,5	O	nicht verwendet
E	4,5 - 5,0	P	12,5 - 14,0
F	5,0 - 5,6	Q	nicht verwendet
G	5,6 - 6,3	R	14,0 - 16,0
H	6,3 - 7,1	S	16,0 - 18,0
I	nicht verwendet	T	18,0 - 20,0
J	7,1 - 8,0	U	20,0 - 22,4
K	8,0 - 9,0	V	> 22,4

Gleichung:

$$\text{Dreiphasig: kVA} = \frac{\text{Spannung} \cdot \text{Anlaufstrom} \cdot \sqrt{3}}{1000}$$

$$\text{Einphasig: kVA} = \frac{\text{Spannung} \cdot \text{Anlaufstrom}}{1000}$$



Messen des Isolationswiderstandes

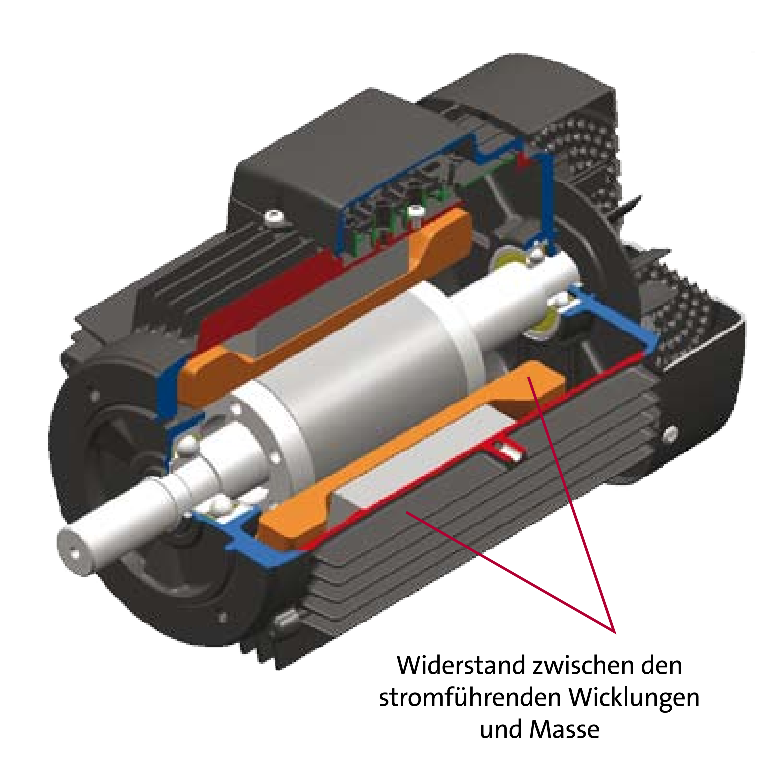
Wird der Motor nicht sofort nach der Anlieferung angebaut und in Betrieb gesetzt, muss er gegen äußere Einflüsse, wie z.B. Feuchtigkeit, hohe Temperaturen und Verschmutzung, geschützt werden, um eine Beschädigung der Isolierung zu vermeiden. Bevor der Motor nach einer längeren Lagerzeit in Betrieb genommen wird, ist der Wicklungsisolationswiderstand zu messen.

Wird der Motor an einem Ort mit hoher Luftfeuchtigkeit gelagert, ist eine wiederkehrende Inspektion erforderlich. Es ist praktisch unmöglich, einen Richtwert für den tatsächlichen Mindestisolationswiderstand eines Motors festzulegen, weil der Widerstand abhängig von der Bauweise, der Nennspannung, der Baugöße und Bauart des Motors sowie vom Zustand des verwendeten Isolationswerkstoffs ist. So bedarf es langjähriger Erfahrung, um entscheiden zu können, ob ein Motor einsatzbereit ist oder nicht. Als allgemeiner Richtwert gilt dennoch, dass der Isolationswiderstand mindestens 10 Megaohm betragen sollte.

Die Messung des Isolationswiderstands wird mit Hilfe eines speziellen Isolationsmessgeräts durchgeführt, das für Messungen von hochohmigen Widerständen geeignet ist. Vorgehensweise: Zwischen den Windungen des Motors und der Masse wird eine Gleichspannung von 500 oder 1000 V angelegt. Während der Messung und auch noch kurz danach führen einige der Klemmen eine gefährliche Spannung und DÜRFEN DESHALB NICHT BERÜHRT WERDEN.

Insgesamt sind drei Punkte zu beachten, die auf der folgenden Seite näher erläutert werden. Dies sind: Isolationswiderstand, Messverfahren und Bewertung.

Isolationswiderstand	Isolationsgrad
2 Megaohm oder weniger	schlecht
2-5 Megaohm	kritisch
5-10 Megaohm	unnormal
10-50 Megaohm	gut
50-100 Megaohm	sehr gut
100 Megaohm oder mehr	ausgezeichnet



Erdungsisolationsprüfung



Isolationswiderstand

- Der Mindestisolationswiderstand neuer, gereinigter oder reparierter Wicklungen bezogen auf Masse beträgt 10 Megaohm oder mehr.
- Der Mindestisolationswiderstand R wird berechnet, indem die Nennspannung U_N mit dem konstanten Wert 0,5 Megaohm/kV multipliziert wird. Beispiel: Beträgt die Nennspannung 690 V = 0,69 kV, dann ergibt sich der Mindestisolationswiderstand zu: 0,69 kV x 0,5 Megaohm/kV = 0,35 Megaohm

Messverfahren

- Zum Messen des Mindestisolationswiderstands der Wicklung gegen Masse wird eine Spannung von 500 V DC angelegt. Die Wicklungstemperatur sollte dabei 25 °C ±15 °C betragen.
- Der maximale Isolationswiderstand wird ebenfalls bei einer Spannung von 500 V DC zwischen den Wicklungen und je nach Motortyp und Wirkungsgrad bei einer Betriebstemperatur von 80-120 °C gemessen.

Bewertung

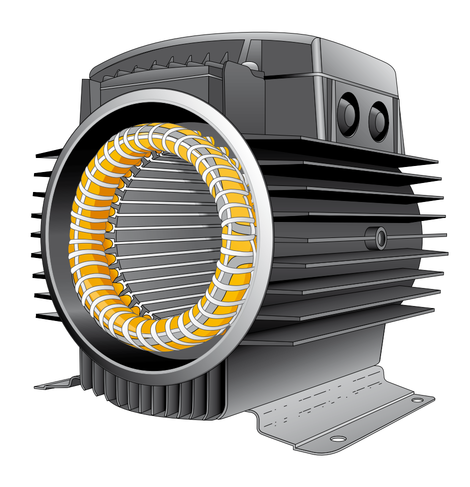
- Ist der Isolationswiderstand eines neuen, gereinigten oder reparierten Motors, der längere Zeit gelagert worden ist, kleiner als 10 Megaohm, kann es daran liegen, dass die Wicklungen feucht geworden sind und getrocknet werden müssen.
- Bei Motoren mit hoher Laufleistung kann der Mindestisolationswiderstand unter einen kritischen Wert sinken. Solange der gemessene Wert nicht unter dem berechneten Wert des Mindestisolationswiderstandes liegt, kann der Motor weiter betrieben werden. Ist der Messwert jedoch kleiner als der Rechenwert, ist der Motor sofort außer Betrieb zu nehmen, damit keine Personen durch den hohen Ableitstrom gefährdet bzw. verletzt werden.



Trocknen der Statorwicklungen

Wird der erforderliche Isolationswiderstandswert nicht erreicht, ist die Wicklung zu feucht und muss getrocknet werden. Der Trocknungsprozess gestaltet sich dabei ziemlich schwierig. Denn durch zu hohe Temperaturen oder einen zu hohen Temperaturanstieg kann sich Dampf bilden, der die Wicklungen beschädigt. Deshalb darf der Temperaturanstieg nicht mehr als 5 °C/h betragen. Zudem dürfen die Wicklungen von Motoren der Wärmeklasse F nur bis maximal 150 °C erwärmt werden.

Während des Trocknungsprozesses ist die Temperatur sorgfältig zu überwachen und der Isolationswiderstand laufend zu messen. Wie reagiert die Wicklung nun auf den Temperaturanstieg? Zunächst sinkt der Isolationswiderstand aufgrund des Temperaturanstiegs weiter ab. Im weiteren Verlauf des Trocknungsprozesses steigt er jedoch wieder an. Für die Dauer des Trocknungsprozesses gibt es keine Richtwerte. Er muss solange weitergeführt werden, bis die fortlaufenden Messungen des Isolationswiderstandes einen konstanten Wert liefern, der höher als der Mindestisolationswiderstand ist. Ist der Isolationswiderstand auch nach dem Trocknungsprozess noch zu gering, ist das Isolationssystem des Motors defekt und der Motor muss ausgetauscht werden.



Im Gehäuse zum Trocknen vorbereiteter Stator

Heiße Oberflächen



Je nach Betriebsbedingungen kann sich das Motorgehäuse auf mehr als 70 °C erwärmen. Wenn das Statorgehäuse während des Betriebs frei zugänglich ist, muss auf die hohen Oberflächentemperaturen mit einem wie auf der rechten Seite gezeigten Aufkleber hingewiesen werden.

Bei gewöhnlichen Motoren gibt Grundfos nur die Wärmeklasse entsprechend der Norm IEC 62114 an. MG-/MMG-/MGE-Motoren besitzen die Wärmeklasse F und können somit Temperaturen bis 155 °C standhalten. Der Temperaturanstieg dieser Motoren entspricht jedoch der Wärmeklasse B. Er beträgt also bis zu 80 °C. Im schlimmsten anzunehmenden Fall steigt die Temperatur der Wicklungen um 80 °C und die Umgebungstemperatur liegt bei 40 °C. Der Motor erreicht dann eine Temperatur von 120 °C.

Die Temperatur des Statorgehäuses steigt dadurch zwar auch an, aber wegen der Kühlung nicht ganz so stark wie die Innentemperatur. Das soll folgendes Beispiel zeigen: Ein Grundfos EFF2-Motor mit 7,5 kW läuft mit maximaler Drehzahl (100 %) und Volllast bei einer Umgebungstemperatur von 40 °C. Je nachdem, wo am Statorgehäuse die Messung durchgeführt wird, liegt die Temperatur zwischen 60 °C und 90 °C. Dabei befinden sich die wärmsten Stellen am Flansch der Antriebsseite und unten am Ansatz der Statorgehäuserippen.

Die einzigen Vorgaben in Bezug auf heiße Oberflächen enthält die ATEX-Richtlinie 99/4/EG. Gemäß dieser Richtlinie entscheiden im Zweifelsfall die örtlichen Behörden, ob der Motor in Bereichen mit einer explosionsfähigen Atmosphäre eingesetzt werden dürfen, die Gase oder Dämpfe bzw. brennbare Stäube enthalten.

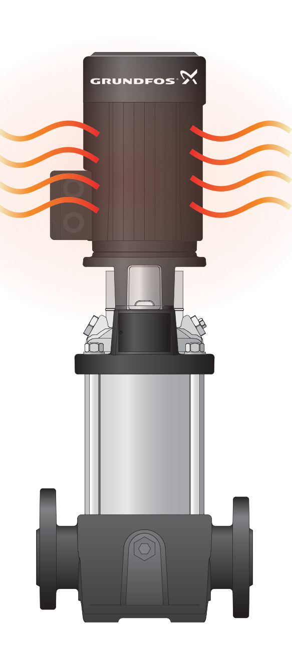
Weitere Einflussfaktoren auf die Lebensdauer der Motorisolierung

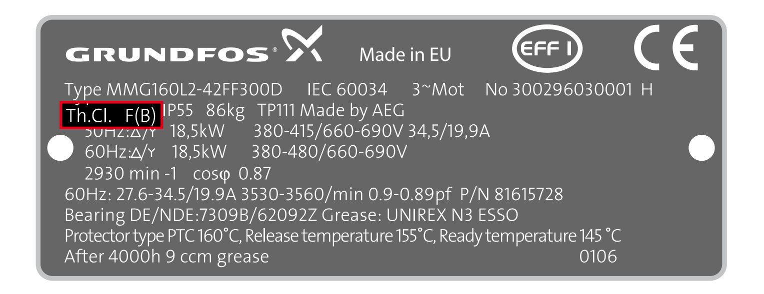
Die Lebensdauer der Isolierung wird neben der Temperatur noch von vielen weiteren Faktoren beeinflusst. Dazu gehören Feuchtigkeit, Chemikalien, Öl, Schwingungen, Pilzbewuchs, abrasive Bestandteile und mechanische Abnutzung, die durch häufige Einschaltungen verursacht wird. Durch alle diese Faktoren wird die Lebensdauer der Motorisolierung verkürzt. In einigen Fällen, wenn die Betriebsumgebung und Motorlast ausreichend bekannt sind, können geeignete Maßnahmen zum Schutz der Isolierung getroffen werden, um trotz äußerer Störfaktoren eine ausreichende Lebensdauer des Motors zu erreichen.



ACHTUNG:

Die Oberfläche des Motorgehäuses kann so hohe Temperaturen annehmen, dass es bei einem unbeabsichtigten Kontakt zu schweren Personenschäden kommen kann. Bei Arbeiten am Motor oder in der Nähe des Motors sind deshalb entsprechende Schutzvorkehrungen gegen unbeabsichtigtes Berühren von heißen Oberflächen zu treffen. Unbedingt Schutzausrüstung tragen.





Wärmeklasse	Heißpunkt in der Isolierung	Typische Oberflächen-temperatur	Typische Lager-temperatur
	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)
B	130	60-90	60-90
F	155	80-120	70-120

Typische, gemessene Absoluttemperaturen für die am häufigsten vorkommenden Wärmeklassen. Obwohl die Grundfos Motoren in die Wärmeklasse F eingestuft sind, entspricht der Temperaturanstieg der Wärmeklasse B. Deshalb werden die in der Tabelle für die Wärmeklasse B aufgeführten Temperaturen verwendet.



Heiße Oberflächen

Lagerschmierung

Bei der Installation eines Motors sind die Intervalle zum Nachschmieren der Lager unbedingt zu beachten. Die Informationen zum Nachschmieren sind in der Regel entweder auf einem eigenen Aufkleber, der auf dem Lüfterdeckel angebracht ist, oder direkt auf dem Motortypenschild angegeben.

Alle Normmotoren für Grundfos Pumpen ab der Baugröße 160 sind mit Lagern ausgerüstet, die nachgeschmiert werden können. In Motoren kleiner der Baugröße 160 sind lebensdauergeschmierte Lager eingebaut, die nicht nachgeschmiert werden können.

Ausrichtung

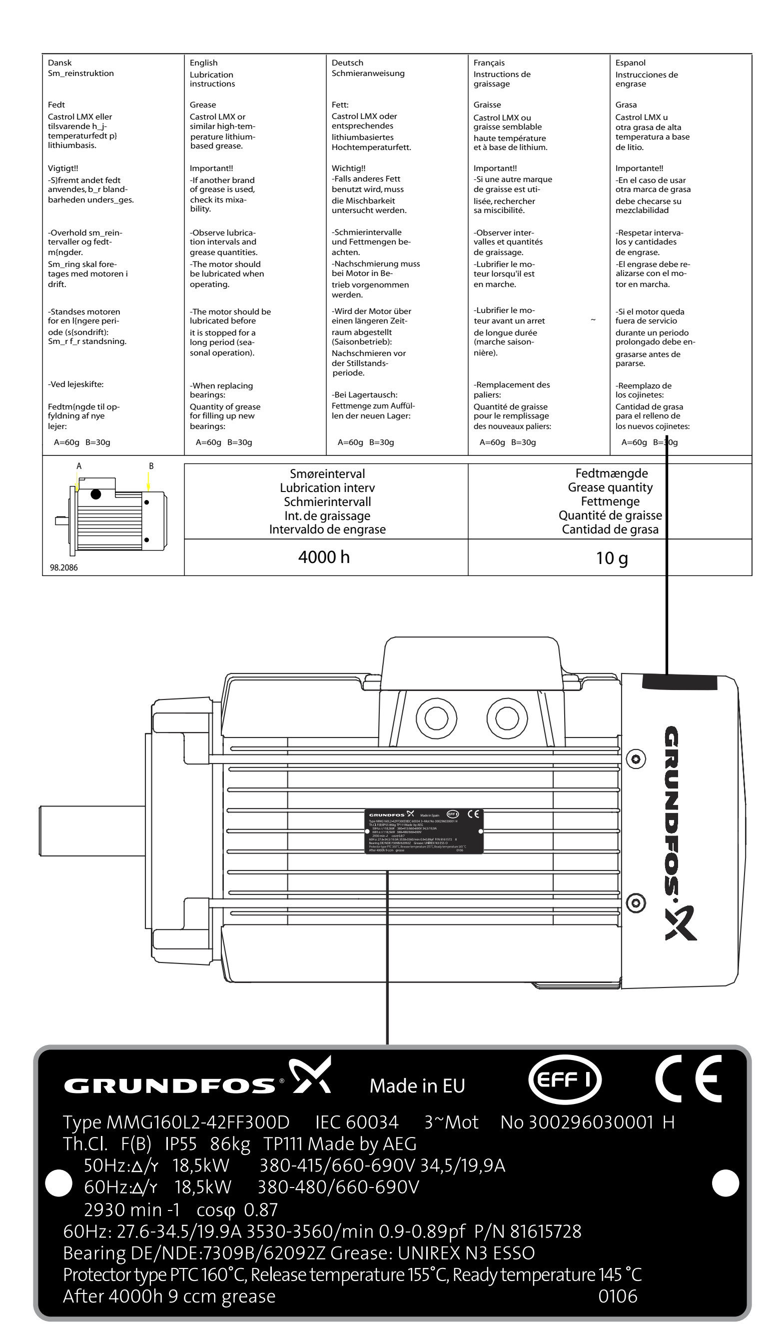
Bei Lieferung eines werkseitig montierten, kompletten Pumpenaggregates sind die Kupplungshälften bereits mit Hilfe von Blechstreifen ausgerichtet, die nach Bedarf unter das Pumpengehäuse oder den Motor gelegt wurden.

Krafteinwirkungen während des Transports können jedoch Auswirkungen auf die Ausrichtung der Pumpe und des Motors haben, wenn z.B. radiale Verschiebungen oder Winkelverschiebungen aufgetreten sind. Die Ausrichtung ist deshalb vor der Installation unbedingt zu überprüfen.

Muss die Ausrichtung korrigiert werden, können Unterlegbleche unter dem Pumpenfuß oder Motorfuß hinzugefügt oder entfernt werden.

Es ist unbedingt auf eine korrekte Ausrichtung zu achten. Denn durch eine korrekte Ausrichtung von Motor und Pumpe wird die Lebensdauer der Kupplung, Lager und Gleitringdichtung erheblich erhöht.

Die Ausrichtung ist zudem noch einmal abschließend zu überprüfen, wenn die Pumpe unter normalen Betriebsbedingungen ihre Betriebstemperatur erreicht hat.



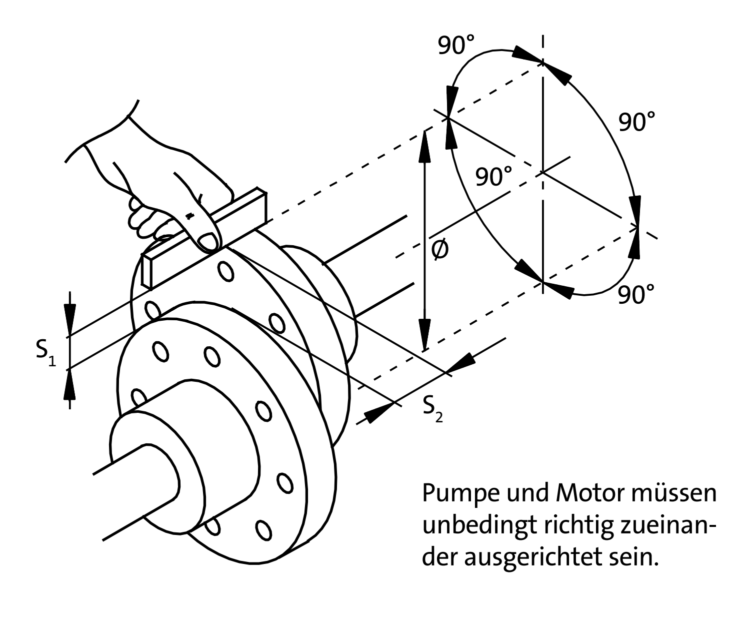
Die Informationen zum Nachschmieren sind in der Regel entweder auf einem eigenen Aufkleber, der auf dem Lüfterdeckel angebracht ist, oder direkt auf dem Motortypenschild angegeben.

Richtiges Ausrichten

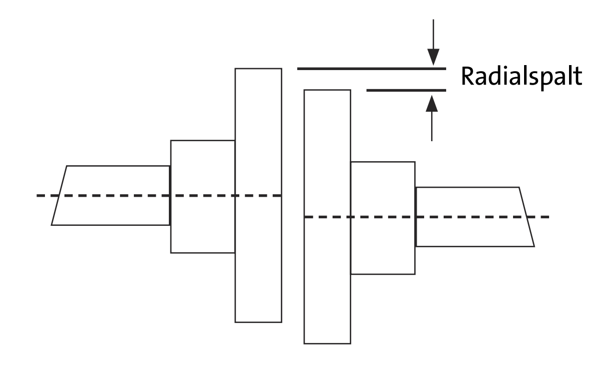
Die beste Möglichkeit, eine korrekte Ausrichtung zu gewährleisten, ist die Verwendung zweier Messuhren, die auf jeder Kupplungshälfte angeordnet werden. Gemessen wird dabei gleichzeitig die radiale und axiale Abweichung. Durch Ablesen der Messuhren kann die Parallelabweichung und Rundlaufabweichung ermittelt werden. Dazu ist die Welle um 360° zu drehen. Die an der Messuhr abgelesene Abweichung darf den Wert ±0,1 mm nicht übersteigen. Erfahrene und ausreichend geschulte Personen können die Ausrichtung auch mit einer Fühlerlehre und einem Haarlineal überprüfen - vorausgesetzt die Kupplungshälften sind in einem einwandfreien Zustand und zentriert.

Bei einer Messung an 4 verschiedenen Stellen über dem Umfang darf die Abweichung nicht mehr als 0,03 mm betragen, um einen winkelförmigen Spalt zu vermeiden.

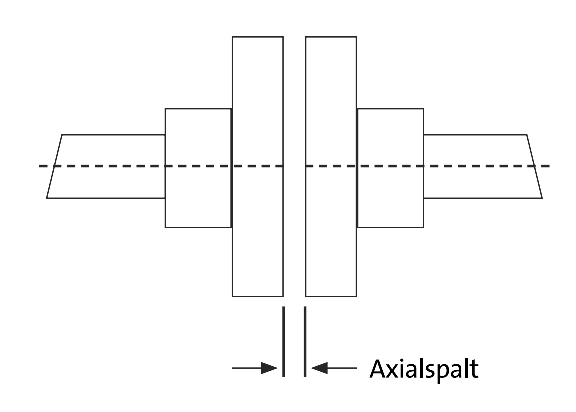
Bei der Ausrichtung/dem Nivellieren sind die Auswirkungen eines Temperaturanstiegs bei dem Motor und der angetriebenen Maschine zu berücksichtigen. So kann sich durch die unterschiedliche Ausdehung der beiden über die Kupplung verbundenen Komponenten die Ausrichtung während des Betriebs verändern. Nachdem das Aggregat (Motor und Pumpe) sorgfältig ausgerichtet worden ist, wird der Motor mit Bolzen auf dem Grundrahmen befestigt. Für eine hochpräzise Ausrichtung gibt es Messgeräte, die einen sichtbaren Laserstrahl verwenden.



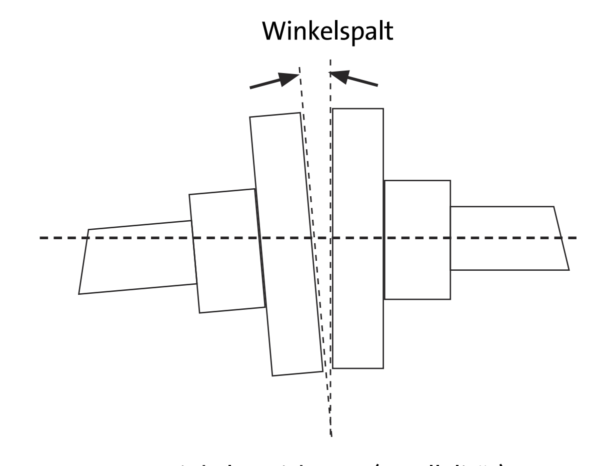
Pumpe und Motor müssen unbedingt richtig zueinander ausgerichtet sein.



Radiale Ausrichtung (Rundlauf) S_1



Axiale Ausrichtung S_2

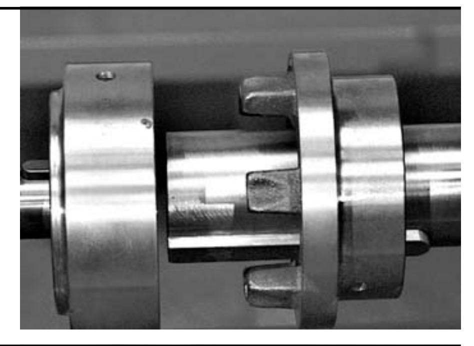


Winkelausrichtung (Parallelität)

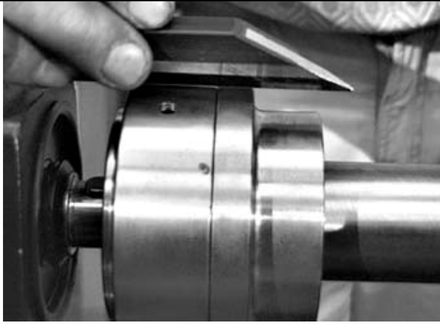


Vorgehensweise beim Ausrichten

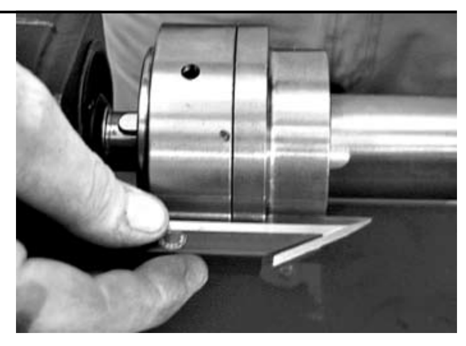
Schritt 1
Der Abstand zwischen den beiden Wellenenden muss dem in der Pumpendokumentation angegebenen Wert S_2 entsprechen. Die beiden Wellen so gegeneinander verdrehen, dass die Passfedern um 180° versetzt angeordnet sind.



Schritt 2
Die Ausrichtung prüfen.



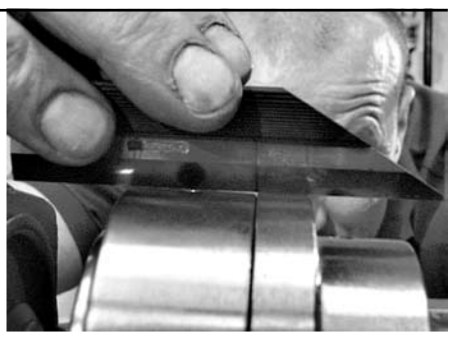
Schritt 3
Die Ausrichtung um 90° versetzt erneut prüfen.



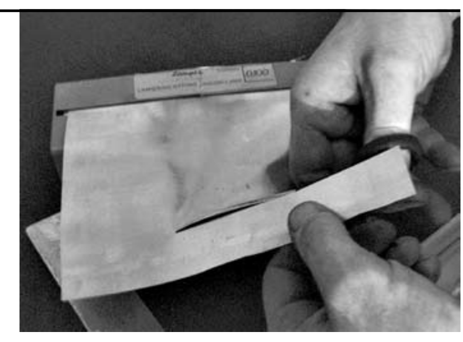
Schritt 4
Die Schrauben zur Befestigung der Pumpe und des Motors auf der Grundplatte festziehen.



Schritt 5
Die Ausrichtung prüfen. Die Toleranz für S_1 beträgt ±0,1 mm. Ist die Ausrichtung in Ordnung, weiter mit Schritt 10.



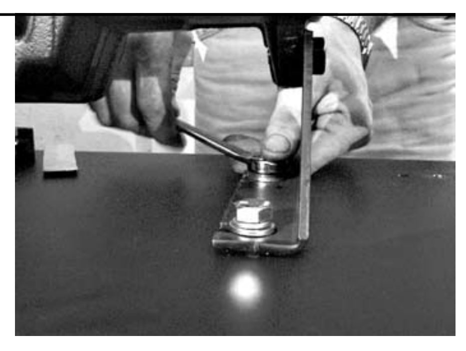
Schritt 6
Den Blechstreifen zum Unterlegen zuschneiden.



Schritt 7
Die Blechstreifen an den erforderlichen Stellen unterlegen.



Schritt 8
Die Schrauben wieder festziehen.



Schritt 9
Die Ausrichtung noch einmal sorgfältig prüfen.



Schritt 10
Die Größe des Luftspalts S_2 muss den Angaben in der Pumpendokumentation entsprechen. Die Toleranz beträgt ±0,1 mm.





Fundamentaufstellung und Schwingungsdämpfung

Um einen optimalen Betrieb zu ermöglichen und Schwingungen sowie die Geräuschentwicklung auf ein Minimum zu reduzieren, ist ggf. eine Schwingungsdämpfung der Pumpe vorzusehen. Eine Schwingungsdämpfung sollte bei Pumpen mit einer Motorleistung größer 7,5 kW immer in Betracht gezogen werden. Doch auch kleinere Motoren können unerwünschte Geräusche und Schwingungen verursachen.

Geräusche und Schwingungen entstehen durch die Rotation von Bauteilen im Motor und der Pumpe sowie durch die Strömung in den Rohrleitungen und Armaturen. Die Auswirkungen auf die Umgebung sind unterschiedlich und hängen auch von der korrekten Installation und dem Zustand der anderen Komponenten im System ab.

Die Pumpe ist auf einem festen und ebenen Fundament aufzustellen. Ein Betonsockel als Fundament ist dabei die beste Lösung.

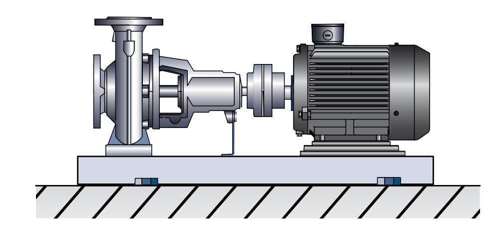
Als Richtwert sollte das Gewicht des Betonfundaments das 1,5-fache des Pumpengewichts betragen, wenn eine Schwingungsdämpfung vorgesehen wird. Das Fundament sollte an allen vier Seiten 100 mm größer sein als der Grundrahmen.

Um zu vermeiden, dass Schwingungen auf das Gebäude oder die Rohrleitungen übertragen werden, wird empfohlen richtig ausgelegte Schwingungsdämpfer und Rohrkompensatoren zu montieren.

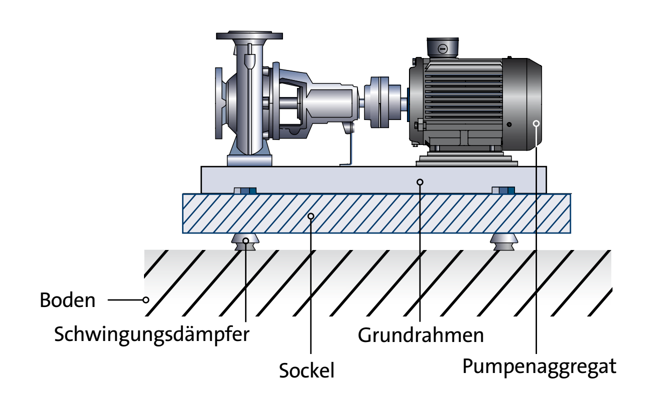
Die Auswahl der richtigen Schwingungsdämpfer ist von der Installation abhängig. In einigen Fällen kann ein falsch ausgelegter Schwingungsdämpfer die Schwingungen sogar verstärken. Deshalb sollte der Hersteller der Schwingungsdämpfer die Auslegung durchführen.

Wird die Pumpe auf ein Fundament mit Schwingungsdämpfern gestellt, müssen auf beiden Seiten der Pumpe Rohrkompensatoren vorgesehen werden. Dadurch wird verhindert, dass die Pumpe in den Flanschen hängt.

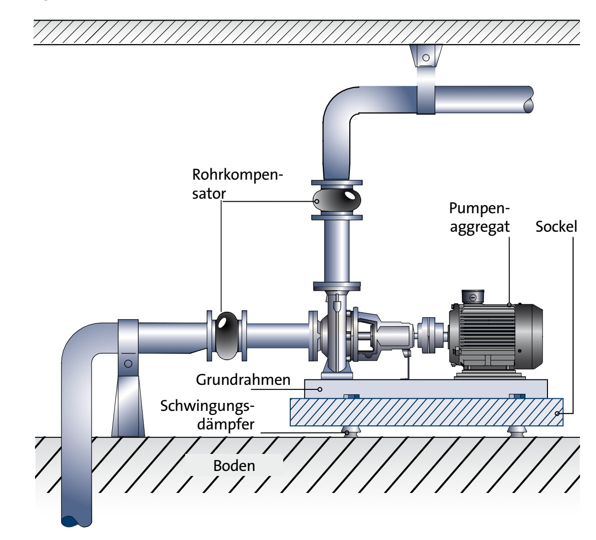
Werden Motoren mit Passfedernut mit einer glatten Wellenkupplung verbunden, wie z.B. bei der CR-Pumpe, muss unbedingt eine halbe Passfeder in die Passfedernut eingesetzt werden. Ansonsten übersteigt der Schwingungspegel die empfohlenen Werte, so dass die Lebensdauer der Lager und der Gleitringdichtung verkürzt wird.



Bodenaufstellung – Direktmontage auf dem Boden bedeutet direkte Schwingungsübertragung



Sockelaufstellung – Grundrahmen mit dem Betonsockel vergossen/verbunden statt direkt mit dem Boden





Umgebungstemperatur und Aufstellungshöhe über NN

Die Umgebungstemperatur und die Aufstellungshöhe über NN sind wichtige Parameter, die bei der Installation eines Motors zu berücksichtigen sind. Denn beide Faktoren haben einen großen Einfluss auf die Lebensdauer der Lager und des Isolationssystems.

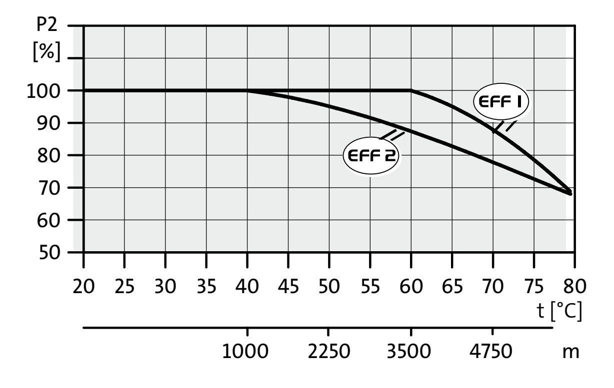
Als nächstes folgt eine kurze Auflistung, was bei der Installation eines Motors hinsichtlich der Umgebungstemperatur beachtet werden muss.

- Ein Motor, der nach der Norm IEC 60034-1 gebaut wird, muss die Anforderungen entsprechend der Wärmeklasseneinstufung für den Umgebungstemperaturbereich von -15 °C bis +40 °C erfüllen.
- Ändern sich die Betriebsbedingungen für den Motor und liegen diese dann außerhalb des Bereichs von -15 °C bis +40 °C, muss die Motorleistung entsprechend reduziert werden. Bei EFF1-Motoren hingegen ist der Betrieb mit Nennlast bis zu einer Temperatur von 60 °C zulässig.
- Wird ein Motor bei einer Umgebungstemperatur größer 40 °C betrieben, kann sich die Fettgebrauchsdauer sowie die Lebensdauer der Lager verkürzen, so dass die Lager häufiger nachgeschmiert oder ausgetauscht werden müssen.

Bei der Aufstellungshöhe über NN sind folgende Punkte zu beachten:

- Bis 1000 m Höhe über NN kann der Motor mit Nennlast (100 %) betrieben werden.
- Wird der Motor oberhalb von 1000 m über NN eingesetzt, ergibt sich eine niedrigere Nennlast des Motors, weil die Dichte der Luft abnimmt und damit die Kühlwirkung geringer ist. Ein Beispiel zeigt das Diagramm auf der rechten Seite.

Wird ein EFF2-Motor in einer Höhe von 3500 m über NN installiert, muss die Belastung des Motors auf 88 % reduziert werden.



Der Kurvenverlauf zeigt, um wieviel die Belastung des Motors in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur und Aufstellungshöhe über NN gegenüber der Nennleistung reduziert werden muss.

Umgebungstemperatur und Aufstellungshöhe über NN

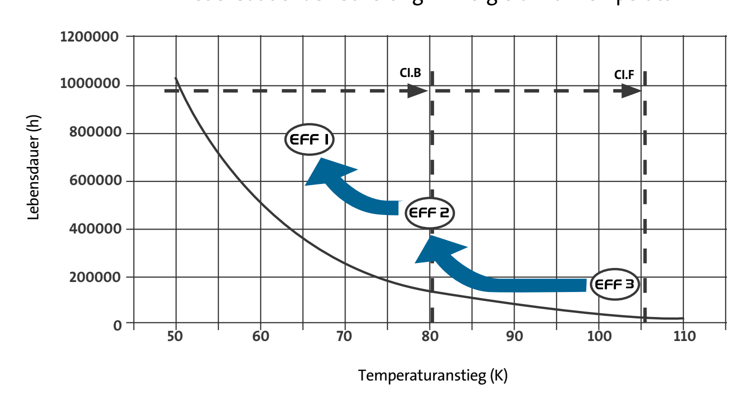
Ein bedeutender Faktor im Hinblick auf die Lebensdauer eines Motors ist das Isolationssystem. Neben Schwingungen, Feuchtigkeit, Chemikalien und nicht temperaturbezogenen Faktoren, die die Lebensdauer verkürzen, ist die Temperatur einer der bestimmenden Faktoren für die Lebensdauer des Motors und des Isolationssystems. Gemeint ist dabei die Temperatur, die auf das Isolationssystem einwirkt und das Temperaturstandhaltevermögen der einzelnen Bauteile.

Die Lebensdauer des Isolationssystems wird verlängert, wenn das Temperaturstandhaltevermögen nicht voll ausgeschöpft wird. Als Richtlinie gilt: Bei einer Unterschreitung der max. Auslegungstemperatur um jeweils 10 °C verdoppelt sich jedesmal die Lebensdauer. Beispiel: Ist der Motor für eine Gesamttemperatur von 120 °C einschließlich der Umgebungstemperatur und dem zulässigen Wärmestau entsprechend der Wärmeklasse B ausgelegt und ist der Motor mit einem Isolationssystem der Wärmeklasse F (155 °C) ausgerüstet, beträgt die ungenutzte Temperaturreserve 35 °C. Durch diese Reserve steigt die Lebensdauer des Isolationssystems von 50.000 Stunden auf 400.000 Stunden.

EFF1-Motoren sind für Umgebungstemperaturen bis 60 °C ausgelegt. Denn dank ihres höheren Wirkungsgrades ist die Betriebstemperatur bei diesen Motoren geringer.

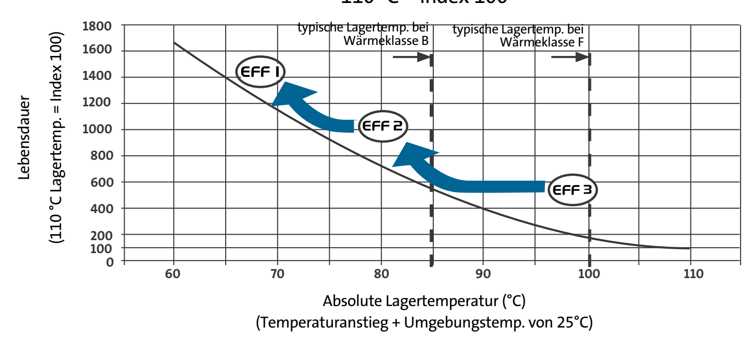
Liegt die Motorbelastung unterhalb der zulässigen Nennlast, fällt auch der Temperaturanstieg geringer aus. Dadurch sinkt automatisch die Gesamttemperatur und die zu erwartende Lebensdauer des Motors steigt. Auch wenn der Motor bei Umgebungstemperaturen unter 40 °C betrieben wird, verlängert sich die Lebensdauer des Motors. Dieselbe 10°-Regel gilt auch im umgekehrten Fall für Motoren, die oberhalb der oben angeführten Auslegungstemperaturen betrieben werden. In diesem Fall verkürzt sich die Lebensdauer jedesmal um die Hälfte, wenn die Nenntemperatur um jeweils 10 °C überschritten wird. Dies gilt häufig auch für die Lager.

Lebensdauer der Isolierung im Vergleich zur Temperatur



Eine Reduzierung um 10 K verlängert die Lebensdauer des Isolationssystems um das Doppelte. Der Temperaturanstieg von EFF1-Motoren liegt gewöhnlich zwischen 50 K und 70 K. Dadurch ergibt sich eine längere Lebensdauer des Isolationssystems im Vergleich zu EFF2-Motoren und eine nochmals erhöhte Lebensdauer gegenüber EFF3-Motoren.

Lebensdauer einers Lagers 6306 in Abhängigkeit der Temperatur
110 °C = Index 100



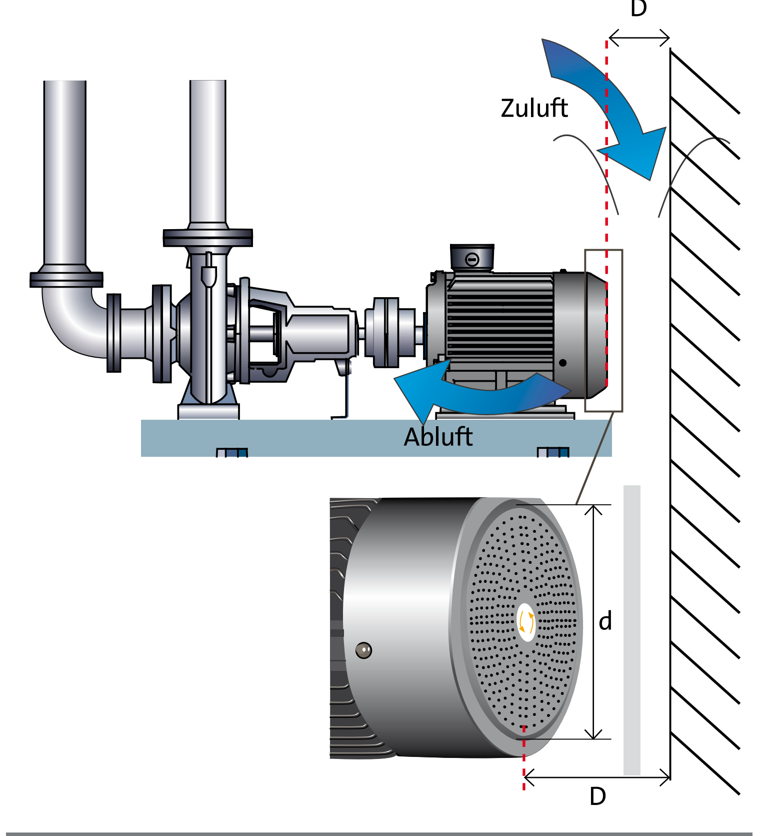
Die Lebensdauer eines Lagers mit 110 °C wird als Bezugswert gesetzt und erhält den Index 100. Der Kurvenverlauf zeigt, dass die Lagerlebensdauer erheblich verlängert wird, wenn die Lagertemperatur reduziert wird. Damit ergibt sich für die Lager dasselbe Verhalten wie bei dem Isolationssystem.

Kühlung

Der Motor wird von außen mit Hilfe eines auf der Welle montierten Lüfters in Übereinstimung mit den Normen IEC 60034-6 bzw. IC 0141 gekühlt. Um eine ausreichende Kühlung des Motors sicherzustellen, sind drei Punkte zu beachten:

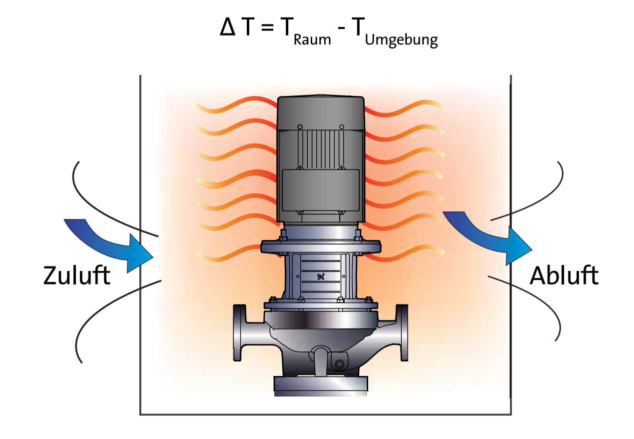
- Den Motor so anordnen, dass eine ausreichende Kühlluftzufuhr möglich ist.
- Die Temperatur der Kühlluft darf 40 °C nicht übersteigen.
- Die Kühlrippen, die Löcher in der Lüfterabdeckung und die Lüfterflügel müssen sauber gehalten werden.

Wird eine Pumpe in der Nähe einer Wand installiert, ist sicherzustellen, dass ausreichend Kühlluft zwischen der Wand und der Lüfterabdeckung zirkulieren kann. Ist der Abstand zu gering, nimmt der Kühlluftstrom ab und die Betriebstemperatur des Motros steigt. Dadurch verkürzt sich die Lebensdauer des Motors.
Häufig wird der Motor mehr oder weniger dicht eingehaust, um den Geräuschpegel zu senken. In diesem Fall heizt der Motor die Luft im Gehäuse auf.
Deshalb ist es besonders wichtig, dass Luft von außen in das Gehäuse strömen kann, um den Motor zu kühlen. Ansonsten erwärmt der Motor die unmittelbare Umgebung langsam so stark auf, bis der integrierte Thermoschutz den Motor abschaltet.
Einige Motorenhersteller geben die Luftmenge an, die zum Kühlen eines Motors einer bestimmten Baugröße benötigt wird. Ist dies nicht der Fall, kann die Abbildung auf der rechten Seite Anhaltswerte liefern. Sie dient zur überschlägigen Bestimmung der notwendigen Kühlluft, die über die Lüfterabdeckung zum Kühlen eines Motors zugeführt werden muss.
Die Verluste eines Motors werden in Wärme umgewandelt. Mit Hilfe des Motorwirkungsgrads ist es möglich abzuschätzen, wie viel Wärme der Motor abgibt.



4 freie Seiten = > D = d/4
3 freie Seiten = > D = d/3
2 freie Seiten = > D = d/2
1 freie Seite = > D = d
⚠ mindestens 50 mm!

D = Abstand zur Wand
d = Durchmesser des Lufteinlasses in der Lüfterabdeckung
1. Lufteinlassfläche = $\frac{d^2 \cdot \pi}{4}$
2. Ist-Lufteinlassfläche = D · d · π



Die Verluste im Motor werden in Wärme umgewandelt, die früher oder später den Raum oder die Einhausung aufheizen. Deshalb muss neue Kühlluft in den Raum oder in die Einhausung geleitet werden, damit die Temperatur nicht über 40 °C ansteigt.

Kühlung

Der Luftstrom, der in den Aufstellungsraum des Motors und der Pumpe geleitet werden muss, wird mit Hilfe folgender Gleichung berechnet:

$$G = \frac{3600 \cdot Q}{(C_p \times \Delta T \times P)} = \text{Mindestluftstrom in m}^3\text{/h}$$

Q = abzuführende Wärmemenge
= Verluste im Motor [W]

C_p = konstante Wärmekapazität für Luft
= 1004,3 (Joule/kg*K)

P = Dichte der Luft (kg/m³)

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen der Zuluft und der Raum-/Gehäusetemperatur

Als Beispiel dient ein Motor mit folgenden Daten:

- Grundfos MG-Motor mit 4 kW
- Motorwirkungsgrad 86 %

Der Motor ist in einem Raum installiert und gibt bei Nennlast folgende Wärmemenge (in kW) ab:

$$Q = P1 - P2 = \text{Motorleistung} \cdot \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)$$

$$Q = 4{,}0\ \text{kW} \cdot \left(\frac{1}{0{,}86} - 1\right) = 0{,}7\ \text{kW} = 700\ \text{W}$$

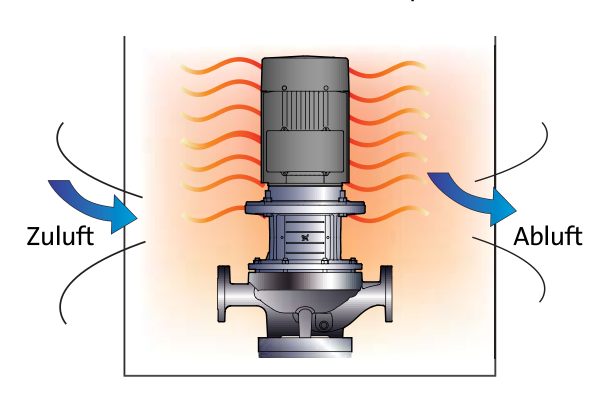
Die Umgebungstemperatur im Raum muss unter 40 °C liegen. Die Außentemperatur beträgt hier 20 °C. Damit ergibt sich eine Temperaturdifferenz (ΔT) von 20 K. Jetzt kann berechnet werden, welche Luftmenge zum Kühlen des Raumes benötigt wird:

$$G = \frac{3600 \cdot 700\ \text{W}}{(1004{,}3 \cdot 20 \cdot 1{,}251)} = 93\ \text{m}^3\text{/h}$$

Die Berechnung zeigt, dass bei einer Temperaturdifferenz von 20 K jede Stunde eine Kühlluftmenge von 93 m³ zugeführt werden muss, um die Raumtemperatur unter 40 °C zu halten.

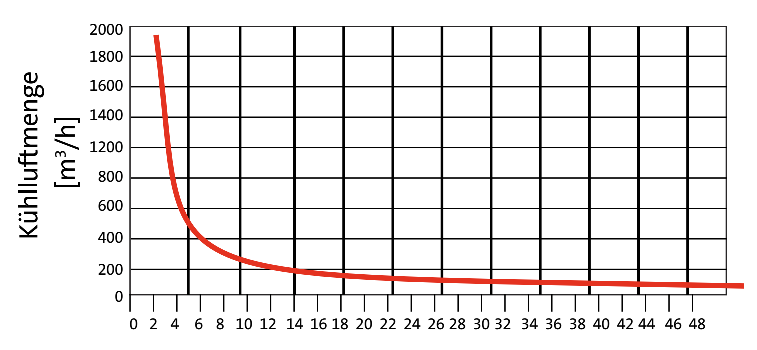
Der ermittelte Wert wird zur Auslegung der Lüftungsanlage verwendet.

ΔT zwischen Raum- und Außentemperatur = 20 K



Die Umgebungstemperatur im Raum muss unter 40 °C liegen.
Die Außentemperatur beträgt 20 °C. Damit ergibt sich eine Temperaturdifferenz (ΔT) von 20 K.

Luftstrombedarf für einen 4-kW-Motor



Temperaturunterschied zwischen der Zuluft und der Raum- bzw. Gehäusetemperatur [K]

Das Diagramm gilt für Motoren mit einer Leistung von 4 kW und einem Wirkungsgrad von 86 %. Besitzt die zugeführte Kühlluft eine geringe Temperatur, ist der Kühlluftbedarf ebenfalls gering. Besitzt die Kühlluft hingegen eine hohe Temperatur nahe 40 °C, ist die benötigte Kühlluftmenge sehr viel größer.



Luftfeuchtigkeit

Wird ein Motor an einem Ort mit hoher Luftfeuchtigkeit installiert, bildet sich Kondenswasser im Motor. Dabei wird zwischen zwei Arten von Kondensation unterschieden: langsame und schnelle Kondensation. Die langsame Kondensation tritt z.B. bei niedrigen Nachttemperaturen auf, während die schnelle Kondensation das Ergebnis einer Art Schockabkühlung ist, wenn nach direkter Sonneneinstrahlung plötzlich Regen fällt.

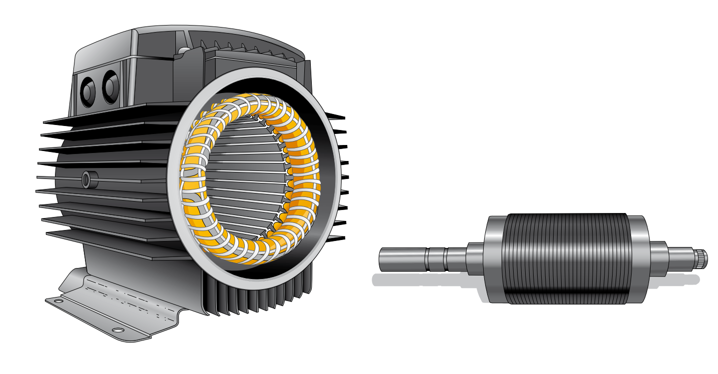
Grundfos MG- und MMG-Motoren besitzen die Schutzart IP 55 und können in der Regel an Orten mit einer konstant hohen relativen Luftfeuchtigkeit von 85 % bei 25 °C Raumtemperatur betrieben werden. Kurzzeitig ist der Betrieb auch bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 95 % und einer Temperatur von 40 °C möglich. Liegt die relative Luftfeuchtigkeit ständig über 85 %, muss die Ablaufbohrung am Flansch auf der Antriebsseite geöffnet werden. Bei geöffneter Ablaufbohrung ändert sich die Schutzart des Motors von IP 55 auf IP 44.

Wird der Motor jedoch in einer staubhaltigen Umgebung eingesetzt und kann deshalb auf die Schutzart IP 55 nicht verzichtet werden, ist eine Anti-Kondensationsheizung vorzusehen, die am Kopf der Statorspule installiert wird. Auf diese Weise wird die Motortemperatur auch in der Nacht auf einem konstanten Wert gehalten, so dass keine Kondensation auftritt, wenn der Motor nicht läuft.

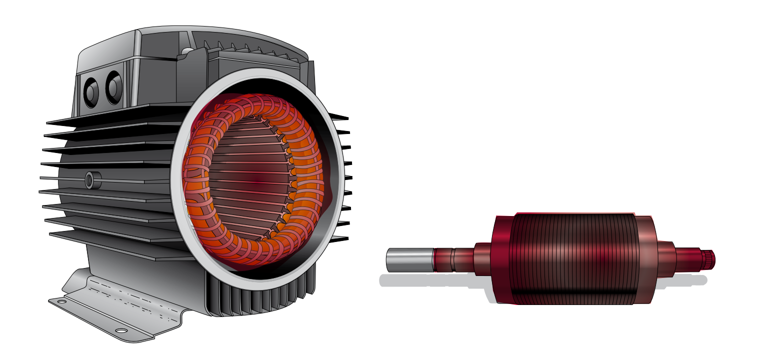
Beträgt die relative Luftfeuchtigkeit 95-100 % und liegt die Umgebungstemperatur über 25 °C, muss der Motor mit einer verstärkten, tropentauglichen Wicklungsisolierung ausgerüstet werden.

Ist mit der Anwesenheit von Insekten zu rechnen, ist bei der Herstellung der besonderen tropentauglichen Isolierung auch Insektengift zuzusetzen.

Tropentaugliche Motoren gehören jedoch nicht zum Produktprogramm von Grundfos. Dennoch arbeitet Grundfos mit Motorenherstellern zusammen, die bei Bedarf solche Motoren liefern können.



Standard-Isolierung

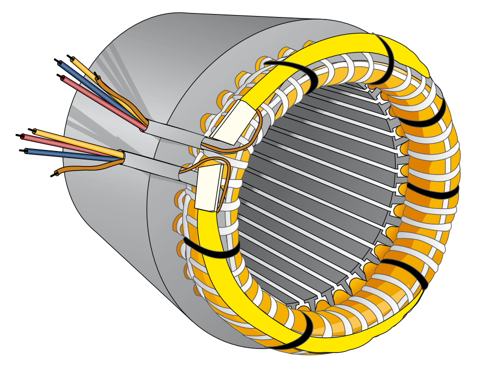


Tropentaugliche Isolierung
- spezielle Sonderlackierung
- Sonderwerkstoffe, die von Insekten nicht angegriffen werden
- Insektengift



Anti-Kondensationsheizung

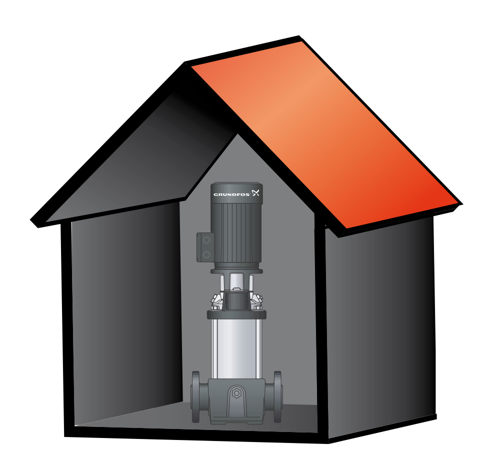
Einige Motoren sind mit einer Anti-Kondensationsheizung ausgerüstet, um die Kondenswasserbildung bei längeren Stillstandszeiten zu unterbinden. Die Anti-Kondensationsheizung wird so angeschlossen, dass sie sofort nach Abschalten des Motors mit Spannung versorgt wird und die Spannungsversorgung nach Einschalten des Motors sofort wieder unterbrochen wird.
Auf dem Typenschild des Motors oder im Klemmenkasten sind die Daten für die Spannungsversorgung und weitere technische Daten der im Motor eingebauten Anti-Kondensationsheizung angegeben.



Stator mit Anti-Kondensationsheizung zur Vermeidung von Kondenswasserbildung

Schutz vor Witterungseinflüssen

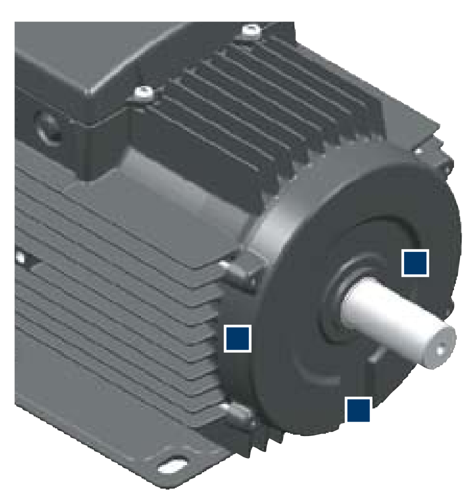
Wird der Motor im Freien aufgestellt, muss eine geeignete Schutzabdeckung vorgesehen werden, um Kondenswasserbildung zu vermeiden und den Motor vor dem Eindringen von Regenwasser zu schützen.



Schutz vor Witterungseinflüssen

Ablaufbohrungen

Motoren, die im Freien oder in feuchter Umgebung eingesetzt werden, müssen mit Ablaufbohrungen ausgestattet sein, insbesondere wenn sie nicht im Dauerbetrieb laufen. Über die Ablaufbohrungen kann Wasser entweichen, dass z.B. durch Kondensation im Statorgehäuse entsteht. Die Grundfos MG- und MMG-Motoren besitzen alle eine Ablaufbohrung, die im Statorgehäuse auf der Antriebsseite angeordnet ist. Bei Anlieferung des Motors ist die Ablaufbohrung mit einem Stopfen verschlossen. Wird der Stopfen entfernt und damit die Ablaufbohrung geöffnet, ändert sich die Schutzart des Motors von IP 55 auf IP 44.



In der Abbildung sind die Ablaufbohrungen mit einem blauen Quadrat gekennzeichnet.

Korrosionsschutz

Um den Motor vor Korrosion zu schützen, wird er mit einer dünnen Lackschicht überzogen. Dabei gibt es zwei Arten von Lackierungen: die Standardlackierung und die Sonderlackierung.

Standardlackierung

Standardmäßig wird auf die Grundfos Motoren eine Standardlackierung aufgetragen, die entsprechend der Norm DIN 600721-2-1 für Geräte, die sowohl im Freien als auch innen aufgestellt werden, bestimmt ist. Diese Lackierung ist geeignet für die gemäßigte Klimazone.

Sonderlackierung

Auf Anfrage sind Grundfos Motoren auch mit einer Sonderlackierung lieferbar. Gemäß der Norm DIN 600721-2-1 ist diese Lackierung für Geräte bestimmt, die im Freien installiert und einer korrosionsfördernden, chemikalienhaltigen oder maritimen Umgebung ausgesetzt sind. Diese Lackierung ist geeignet für alle Klimazonen weltweit.

Auf Schiffen werden spezielle Motoren eingesetzt, die für den maritimen Bereich besonders geeignet sind. Sie sind besonders widerstandsfähig gegenüber Korrosion und werden immer aus Grauguss gefertigt.



Drehrichtung und Klemmenbelegung

Vor der endgültigen Inbetriebnahme des Motors ist die Drehrichtung zu prüfen.

Bei falscher Drehrichtung kann die Drehrichtung auf einfache Weise geändert werden. Bei einem Drehstrommotor müssen nur zwei der drei Netzleiter miteinander getauscht werden. Einphasenmotoren hingegen sind immer entsprechend des im Klemmenkasten hinterlegten Schaltplans anzuschließen.

Manchmal ist der Motor auch mit einem Lüfter ausgerüstet, der nur in eine Richtung drehen darf. In diesem Fall muss die Drehrichtung dem Richtungspfeil entsprechen, der auf der Lüfterabdeckung angebracht ist.

Besonders in großen 2-poligen Motoren werden diese nur in eine Richtung zu betreibenden Lüfter eingesetzt, um besondere Anforderungen an den Geräuschpegel zu erfüllen.
Beispiele für unterschiedliche Drehrichtungen zeigt die nachfolgende Tabelle.

Pumpentyp	Drehrichtung
CR-Pumpen	CW / Hochdruckpumpen CCW
TP-Niederdruck pumpen	CW
TP-Hochdruck pumpen	CCW
NB	CCW
NK	CCW

CW ist die englische Abkürzung für Clockwise, d.h.
- der Motor dreht vom Wellenende aus gesehen im Uhrzeigersinn.

CCW hingegen ist die englische Abkürzung für Counterclockwise, d.h.
- der Motor dreht vom Wellenende aus gesehen gegen den Uhrzeigersinn.



Vor dem Einschalten des Motors prüfen, ob der Motor in die richtige Richtung dreht.



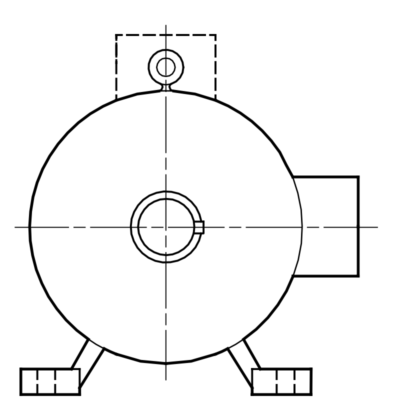


Klemmenkasten

In der Regel ist der Klemmenkasten bei horizontal installierten Motoren oben angeordnet. Kabeleinführungen befinden sich dann auf beiden Seiten. Um eine Anpassung an unterschiedliche Einbauverhältnisse zu ermöglichen, sind jedoch auch andere Klemmenkastenpositionen möglich. So sind einige Motoren z.B. mit oben montierten Klemmenkästen ausgerüstet, die sich jeweils um 90° gedreht anbauen lassen. Bei anderen Motoren hingegen ist der Klemmenkasten seitlich angebracht. Aus Sicherheitsgründen sind nicht benutzte Kabeleinführungen zu verschließen.

Im Hinblick auf die Sicherheit sind beim Umgang mit Klemmnkästen zudem weitere Punkte zu beachten:

- Auch im Stillstand kann Spannung im Klemmenkasten anliegen, um z.B. Heizelemente oder eine direkte Wicklungsheizung mit Strom zu versorgen. Deshalb darf der Klemmenkasten niemals geöffnet werden, bevor die Spannungsversorgung zum Motor nicht unterbrochen worden ist.
- Der Kondensator eines Einphasenmotors kann immer noch geladen sein, auch wenn der Motor nicht läuft. Die Entladung erfolgt dann über die Motorklemmen.



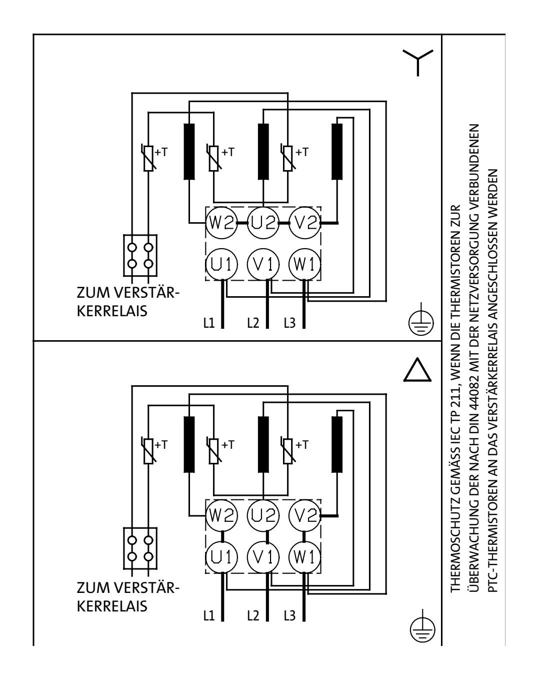
In der Regel ist der Klemmenkasten bei horizontal installierten Motoren oben angeordnet. Kabeleinführungen befinden sich dann auf beiden Seiten. Einige Motoren sind jedoch z.B. mit oben montierten Klemmenkästen ausgerüstet, die sich jeweils um 90° gedreht anbauen lassen. Bei anderen Motoren hingegen ist der Klemmenkasten seitlich angebracht.

Anschließen des Motors

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, einen Motor anzuschließen. Die geläufigsten Anschlussarten für Drehstrommotoren sind: Dreieck(Δ)-Schaltung und Stern(Y)-Schaltung.

Anschluss von Drehstrommotoren

Gemäß der Norm IEC 60034-8 können die Wicklungen eines 3-phasigen Normmotors entweder in Stern(Y)-Schaltung oder Dreieck(Δ)-Schaltung angeschlossen werden.



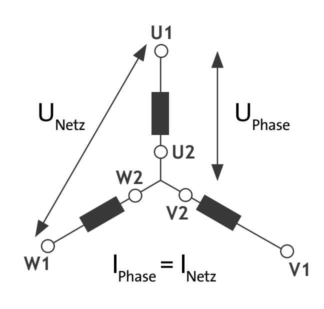
Typischer Schaltplan

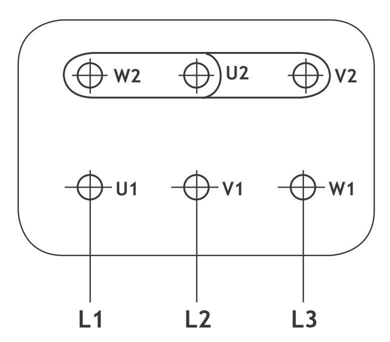
Stern(Y)-Schaltung

Durch Kurzschließen der Klemmen W2, U2 und V2 und Anschließen der Netzleiter an W1, U1 und V1 ergibt sich eine Stern(Y)-Schaltung.

Strom: $I_{Phase} = I_{Netz}$

Spannung: $U_{Phase} = U_{Netz}/\sqrt{3}$



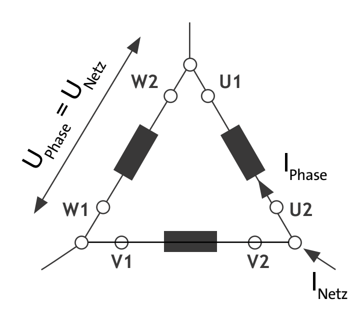


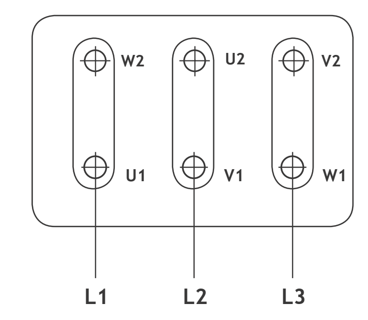
Dreieck(Δ)-Schaltung

Durch Verbinden des einen Phasenendes mit dem Phasenanfang einer anderen Phase erhält man eine Dreieck(Δ)-Schaltung.

Strom: $I_{Phase} = I_{Netz}/\sqrt{3}$

Spannung: $U_{Phase} = U_{Netz}$








Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebs

Grundfos Motoren werden in Übereinstimmung mit den europäischen Normen IEC 60034-1 und IEC 60038 gefertigt.
Bei Wechselstrommotoren, die für den Anschluss an eine lokale Spannungsversorgung oder Netzspannung mit fester, über einen Wechselstromgenerator erzeugten Frequenz vorgesehen sind, liegen die zulässigen Spannungs- und Frequenzschwankungen entweder in Zone A oder B.

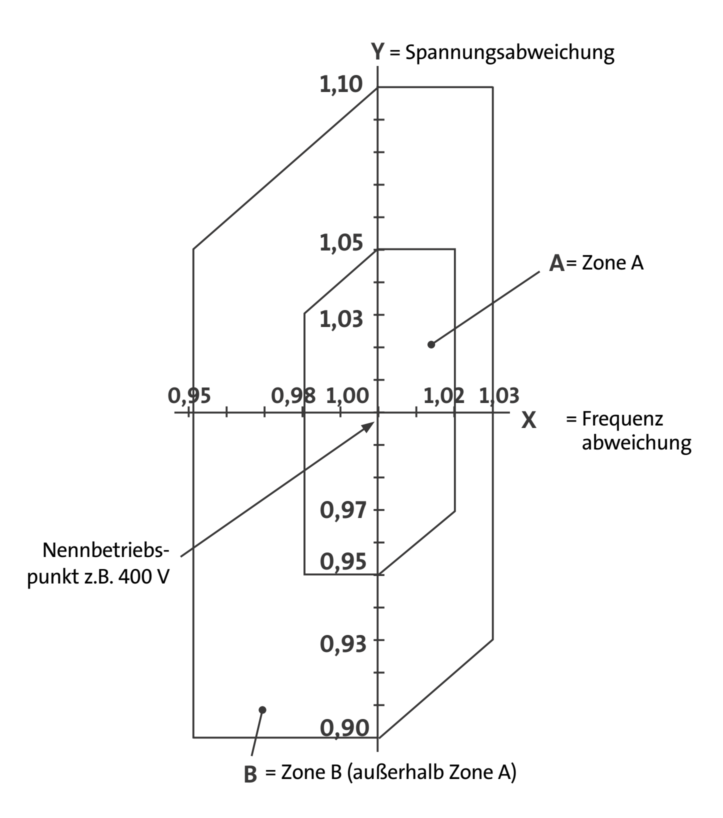
Ein Motor soll seine Hauptfunktion in der mit A gekennzeichneten Zone erfüllen. Er muss seine volle Leistung, die bei der Nennspannung und Nennfrequenz erbracht wird, aber nicht über den gesamten Spannungsbereich abgeben, so dass einige Abweichungen erlaubt sind. So können die Temperaturanstiege z.B. höher als bei Nennspannung und Nennfrequenz sein.

Ein anderer Motor soll seine Hauptfunktion in der mit B gekennzeichneten Zone erfüllen. Die Abweichungen im Leistungsvermögen dürfen jedoch höher als für die Zone A sein. So können die Temperaturanstiege z.B. höher als bei Nennspannung und Nennfrequenz sein und auch höher als bei einem Betrieb in Zone A. Deshalb wird ein häufiger Betrieb in der Zone B nicht empfohlen.

Spannungs- und Frequenzgrenzwerte für Motoren

Gemäß der europäischen Norm IEC 60038 beträgt die erlaubte Toleranz der Netzspannung ±10 %.
Die EN 60034-1 erlaubt hingegen nur eine Abweichung der Nennspannung, mit der der Motor versorgt wird, von ±5 %.
Die von Grundfos verwendeten Motoren sind für die in der rechten unteren Tabelle aufgeführten Nennspannungsbereiche ausgelegt.

Liegt die Spannungsversorgung zum Motor innerhalb dieses Nennspannungsbereichs, wird die über die Wärmeklasse festgelegte, zulässige Maximaltemperatur nicht überschritten. Enstspricht die Spannungsversorgung den Verhältnissen des Grenzbereichs von Zone A, so fällt der Temperaturanstieg um ca. 10 K höher als der Nenntemperaturanstieg aus.



Zulässige Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebs gemäß der europäischer Normen IEC 60034-1 and IEC 60038

Netzspannungen nach IEC 60038	
50 Hz	**60 Hz**
230 V ± 10 %	-
400 V ± 10 %	-
690 V ± 10 %	-
-	460 V ± 10 %

Nennspannungsbereiche für Grundfos Motoren	
50 Hz	**60 Hz**
220-240 V ± 5 %	220-277 V ± 5 %
380-415 V ± 5 %	380-440 V ± 5 %
380-415 V ± 5 %	380-480 V ± 5 %
660-690 V ± 5 %	660-690 V ± 5 %



Spannungs- und Frequenzschwankungen während des Betriebs

Erkennen von Spannungs- und/oder Stromasymmetrien

Der Grund für Spannungs- und Stromasymmetrien liegt häufig in der Netzversorgung oder im Motor selbst. Die Netzversorgung kann entweder eine Asymmetrie zwischen den Phasen oder eine Verzerrung aufweisen. Die Asymmetrie zwischen den Phasen kann mit Hilfe eines Voltmeters aufgedeckt werden. Eine Spannungsverzerrung hingegen kann nicht mit Hilfe eines Voltmeters erkannt werden, weil sich die Effektivwerte nicht zwangsläufig ändern. Häufig liegt der Fehler in diesem Fall im Motor.

Eine Drehprüfung mit veränderten Phasen gibt Aufschluss darüber, ob der Fehler in einer Motorwicklung oder der Netzversorgung zu suchen ist. Dazu werden die Phasen so getauscht, dass der Motor immer in dieselbe Richtung dreht. Für jeden Rotationsdurchlauf sind dann die Phasenströme zu notieren. Ändert sich der während der Drehprüfung gemessene Höchststrom mit dem Phasentausch, liegt das Problem in der Netzversorgung. Wird der höchste Strom stattdessen immer an der gleichen Motorwicklung gemessen, ist der Fehler im Motor zu suchen. Für den zweiten Fall gibt es zwei mögliche Erklärungen: Entweder gibt es eine unterschiedliche Anzahl an Wicklungen im Motor oder der Luftspalt zwischen dem Rotor und dem Stator variiert.

Grundsätzlich führt eine Spannungs- und Strom-asymmetrie zu einer höheren Betriebstemperatur, einer kürzeren Lebensdauer des Motors und zu einem schlechteren Wirkungsgrad.

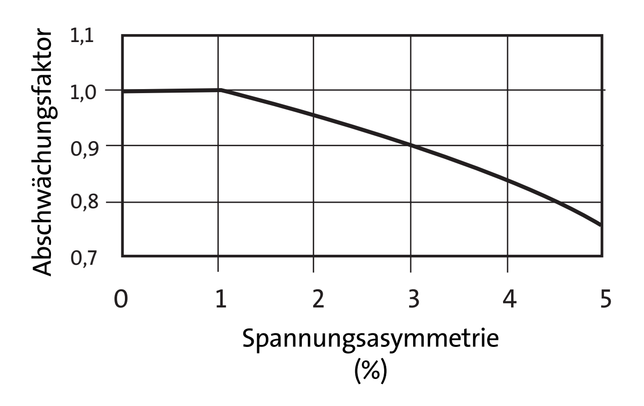
Phasenspannungsasymmetrie

Gewöhnlich bringt eine Spannungsasymmetrie auch eine Stromasymmetrie mit sich, die sehr viel größere Auswirkungen als die Spannungsasymmetrie hat. Der Zusammenhang zwischen Spannungs- und Stromasymmetrie ist in der Tabelle auf der rechten Seite dargestellt.

Manchmal ist die Spannungsasymmetrie bereits vor der Auslieferung des Motors bekannt. In diesem Fall ist die in der europäischen Norm IEC 892 definierte Leistungsminderungskurve anzuwenden, die auf der rechten Seite abgebildet ist.

Zusammenhang zwischen der Spannungsasymmetrie und der Stromasymmetrie				
Spannungsasymmetrie (%)	0	2	3,5	5
Stromasymmetrie im Stator (%)	100	101	104	107,5
Anstieg der Statorverluste (%)	0	4	12,5	25
Temperaturanstieg (Index)	1	1,05	1,14	1,28

Gewöhnlich bringt eine Spannungsasymmetrie auch eine Stromasymmetrie mit sich, die sehr viel größere Auswirkungen als die Spannungsasymmetrie hat.



Leistungsminderungskurve nach der europäischen Norm IEC 892



Zulässige Asymmetrie

Das zulässige Maß an Asymmetrie ist von der jeweiligen Situation abhängig.

Wird der Motor mit Volllast betrieben und liegt die höchste Amperezahl der drei Adern unterhalb des auf dem Typenschild angegebenen Volllast-Nennwertes, kann der Motor sicher betrieben werden. Aber auch wenn der Amperewert der einzelnen Phasen den auf dem Typenschild aufgeführten Nennwert um nicht mehr als 10 % übersteigt, ist immer noch ein sicherer Betrieb möglich. Es ist jedoch nicht ungewöhnlich, dass Stromassymetrien häufiger bei fehlender Last als unter Belastung auftreten.

Für einen sicheren Betrieb sollte zudem der Höchstwert der Stromstärke den zwischen den drei Adern gemittelten Durchschnittswert, der im Betrieb unter Last gemessen wird, nicht um mehr als 10 % überschreiten.

Beispiel:

Typenschildangabe: $I_{1/1} = 10{,}0$ A

Phase	gemessener Phasenstrom
A	10,6
B	9,8
C	10,2

$$I_{gemittelt} = \frac{10{,}6 + 9{,}8 + 10{,}2}{3} = 10{,}2 \text{ A}$$

Abweichung in %

$$\frac{I_{max\ einer\ Phase} - I_{gemittelt}}{I_{gemittelt}} \cdot 100$$

$$\frac{10{,}6 - 10{,}2}{10{,}2} \cdot 100 = \frac{0{,}4}{10{,}2} \cdot 100 = 3{,}9\%$$

Maßnahmen bei asymmetrischer Spannung/ asymmetrischem Strom

Problem	Lösung
Durchgebrannte Sicherung an einem Kondensatorenblock zur Blindleistungskompensation	Durchgebrannte Sicherung austauschen.
Ungleichmäßige Belastung einer Phase des Drehstromsystems	Die Belastung der einen Phase gleichmäßiger auf den dreiphasigen Stromkreis verteilen.
Asymmetrische Spannungsversorgung	Ist die eingehende Spannung insbesondere bei keiner oder leichter Last im erheblichen Umfang asymmetrisch, ist das Energieversorgungsunternehmen einzuschalten, um das Problem zu beheben.

Grundsätzlich sollten Stromasymmetrien beim Betrieb von Drehstrommotoren vermieden werden. Dennoch ist ein geringes Maß an Asymmetrie zulässig, wenn die Abweichung vom Durchschnittsphasenstrom unter 10 % liegt. Eine größere Stromasymmetrie als 10 % verkürzt hingegen die Lebensdauer des Motors und führt zu einem höheren Stromverbrauch. In diesem Fall muss zudem mit einer Leistungsminderung gerechnet werden.



Geräuschpegel

Der Schalldruckpegel einer Anlage/eines Gerätes wird in Dezibel (dB) gemessen. Als Geräusch wird eine unerwünschte Schallausbreitung bezeichnet. Der Geräuschpegel kann auf folgende drei Arten gemessen werden:

1. Schalldruck – L_P (Pa): Druck der Schallwellen
2. Schallleistung – L_W (W): Leistung der Schallausbreitung
3. Schallintensität - L_I: Schallleistung pro m^2
   (Das letzgenannte Messverfahren wird in diesem Handbuch nicht weiter behandelt.)

Die drei Werte können nicht direkt miteinander verglichen werden. Es ist jedoch eine Umrechnung auf Grundlage von Richtwerten möglich.



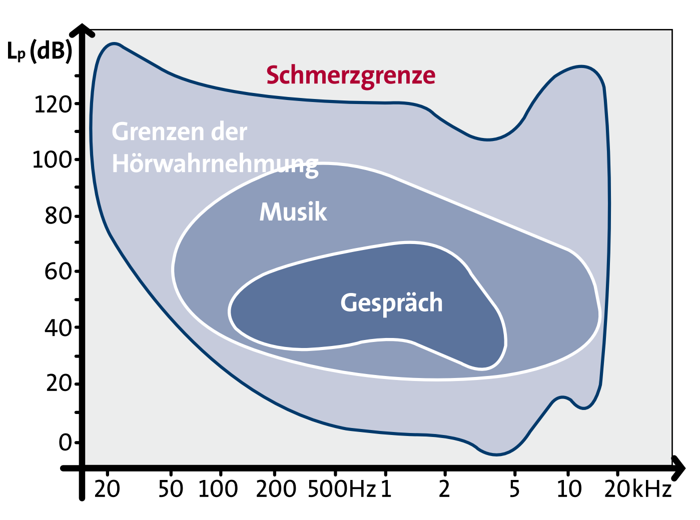
Als Richtwert gilt:

$$L_P + 10^* \text{ dB} = L_W$$

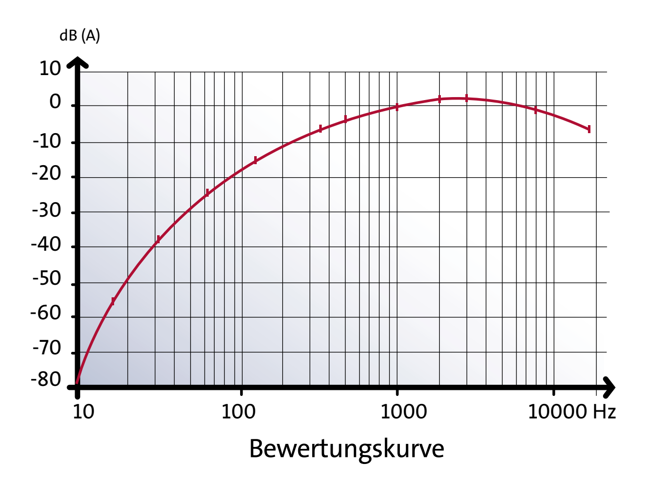
* Durchschnittwert, mögliche Schwankungsbreite 8-14 dB.

In der EU-Maschinenrichtlinie ist festgelegt, dass der Schalldruckpegel als Schalldruck anzugeben ist, wenn der Wert niedriger als 85 dB(A) ist und als Schallleistung, wenn der Wert 85 dB(A) übersteigt. Der Lärm wird jedoch unterschiedlich empfunden. Das Empfinden ist abhängig vom Hörvermögen der betreffenden Person und häufig auch von seinem Alter. Deshalb erfolgt eine Interpretation/Bewertung der mit Hilfe der oben aufgeführten Messverfahren ermittelten Werte. Grundlage hierfür ist das sogenannte “Standardohr”. Siehe die Abbildungen auf der rechten Seite. Diese Art der Interpretation wird als A-Bewertung (dB(A)) bezeichnet. Die Messwerte werden dabei in Abhängigkeit der Frequenz angepasst, d.h. in einigen Fällen nach oben und in anderen Fällen nach unten korrigiert.

Andere Gewichtungsverfahren werden als B- und C-Bewertung bezeichnet, die jedoch für andere Zwecke verwendet werden, die in diesem Handbuch nicht behandelt werden.



Hörschwellenwert in Abhängigkeit der Frequenz



Bewertungskurve

Die drei Werte können nicht direkt miteinander verglichen werden. Es ist jedoch eine Umrechnung auf Grundlage von Richtwerten möglich.



Geräuschmessung bei Motoren

Die Schalldruckpegel (L_P) und Schallleistungspegel (L_W) für die Grundfos Motoren wurden in Übereinstimmung mit den in den folgenden Normen beschriebenen Messverfahren ermittelt:

- EN ISO 3743
- EN ISO 4871
- EN ISO 11203
- EN 21683, ISO 1683

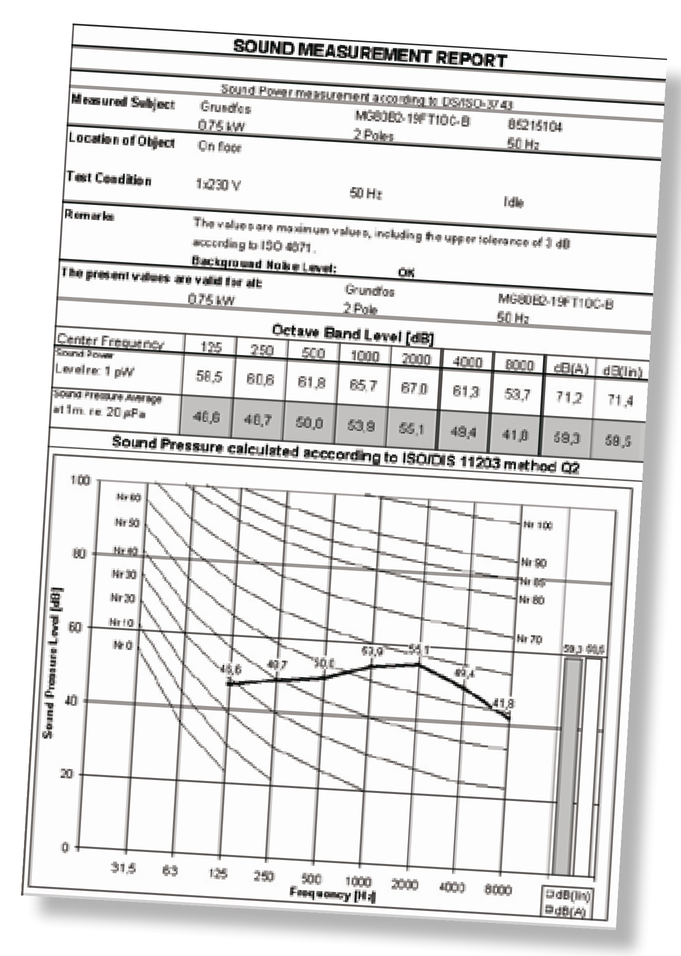
Je nachdem welches Geräuschmessverfahren - Schalldruckpegel (L_P) oder Schallleistungspegel (L_W) - Anwendung findet, gelten unterschiedliche Normen:

1. Die Schallleistung (L_W) wird gemäß der Norm ISO 3743-2 gemessen.
2. Der Schallleistungspegel (L_W) wird mit Hilfe der Norm EN ISO 11203 in einen mittleren Schalldruckpegel (L_P) bei 1 m Abstand umgewandelt.
3. Gemäß der Norm EN ISO 4871 werden für 50 Hz und 60 Hz Motoren 3 dB hinzuaddiert. Dadurch werden Ungenauigkeiten innerhalb des Messgerätes und der Kalibrierausrüstung sowie Abweichungen in der Serienfertigung ausgeglichen.

Der Schalldruckpegel (L_P) wird in der Regel in einem Abstand von 1 m vom Prüfobjekt bei einem Druckbezugswert von 20 µpa (= 0 dB) gemessen. Bei der Schallleistung (L_W) ist der Bezugswert 1 pW.

Die Schallleistung (L_W) ist ein Rechenwert, der nicht mit dem Schalldruckpegel (L_P) verwechselt werden darf, auch wenn beide in dB(A) angegeben werden.

Andere Motorenhersteller nutzen dieselben oder ähnliche Normen. Dennoch kann es Unterschiede bei der Angabe der Werte geben.



SOUND MEASUREMENT REPORT

Sound Power measurement according to DS/ISO-3743

Measured Subject: Grundfos, 0,75 kW, MG80B2-19FT10C-B, 2 Poles, 85215104, 50 Hz

Location of Object: On floor

Test Condition: 1x230 V, 50 Hz, Idle

Remarks: The values are maximum values, including the upper tolerance of 3 dB according to ISO 4871.
Background Noise Level: OK

The present values are valid for all: 0,75 kW, Grundfos, 2 Pole, MG80B2-19FT10C-B, 50 Hz

Octave Band Level [dB]

Center Frequency	125	250	500	1000	2000	4000	8000	dB(A)	dB(lin)
Sound Power Level re: 1 pW	58,5	60,6	61,8	65,7	67,0	61,3	53,7	71,2	71,4
Sound Pressure Average at 1m. re. 20 µPa	46,6	46,7	50,0	53,9	55,1	49,4	41,8	59,3	59,5

Sound Pressure calculated according to ISO/DIS 11203 method Q2

Grundfos Messbericht zum Geräuschpegel

Geräuschpegel



Schalldruckpegel von unterschiedlichen Geräuschquellen

Der Schalldruckpegel zweier sich überlagernder Geräuschquellen ergibt sich aus der nachfolgend aufgeführten Gleichung.

Beispiel:

$$L_{P\,gesamt} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{Lp1}{10}} + 10^{\frac{Lp2}{10}}\right)$$

$$L_{P\,gesamt} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{Lp1}{10}} + 10^{\frac{Lp2}{10}}\right) = 51{,}19$$

Geräuschquelle 1: 45 dB (A)
Geräuschquelle 2: 50 dB (A)

Geräuschquelle 2 / Geräuschquelle 1 (dB)	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
41	44,0	44,5	45,1	45,8	46,5	47,2	48,0	48,8	49,6	50,5
42	44,5	45,0	45,5	46,4	46,8	47,5	48,2	49,0	49,8	50,6
43	45,1	45,5	46,0	46,5	47,1	47,8	48,5	49,2	50,0	50,8
44	45,8	46,1	46,5	47,0	47,5	48,1	48,8	49,5	50,2	51,0
45	46,5	46,8	47,1	47,5	48,0	48,5	49,1	49,8	50,5	51,2
46	47,2	47,5	47,8	48,1	48,5	49,0	49,5	50,1	50,8	51,5
47	48,0	48,2	48,5	48,8	49,1	49,5	50,0	50,5	51,1	51,8
48	48,8	49,0	49,2	49,5	49,8	50,1	50,5	51,0	51,5	52,1
49	49,6	49,8	50,0	50,2	50,5	50,8	51,1	51,5	52,0	52,5
50	50,5	50,6	50,8	51,0	51,2	51,5	51,8	52,1	52,5	53,0

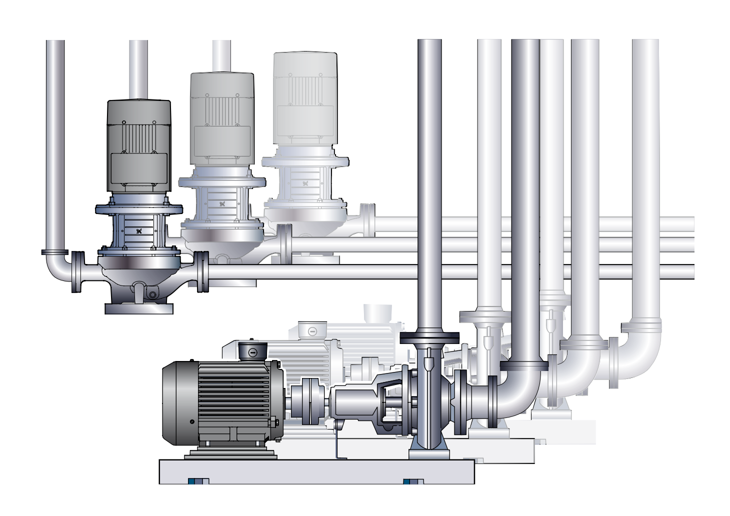
Der Schalldruckpegel zweier sich überlagernder Geräuschquellen kann auch mit Hilfe der oberen Tabelle ermittelt werden.

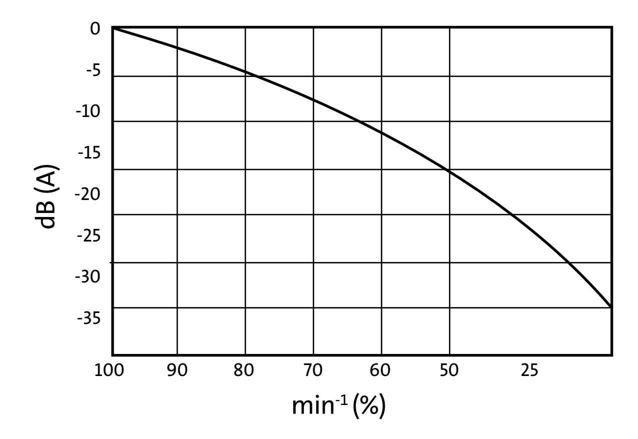
Zusammenhang Schalldruckpegel und Drehzahl

Der Schalldruckpegel eines Lüfters steigt mit der Motordrehzahl. Die resultierende Schalldruckänderung kann mit Hilfe der folgenden Gleichung abgeschätzt werden:

$$\Delta L_p = 50 \cdot \log \frac{n_2}{n_1} \text{ dB (A)}$$

Dabei ist ΔL_p die Schalldruckpegeländerung, die sich aus der Drehzahländerung von n_1 auf n_2 ergibt. Die Gleichung gilt sowohl für eine Drehzahlerhöhung als auch für eine Drehzahlabsenkung.





Der Schalldruckpegel steigt mit zunehmender Drehzahl.

Geräuschpegel


Alfa Laval

10. Einschaltarten



Einschaltarten

Heute gibt es viele verschiedene Möglichkeiten einen Motor anlaufen zu lassen. Durch den technischen Fortschritt, der sich z.B. im Bau neuer energieeffizienter Motorausführungen zeigt, die einen hohen Anlaufstrom benötigen, rückt auch die Einschaltart verstärkt in den Blickpunkt. Eng damit verknüpft ist die Qualität der Spannungsversorgung. Auch dieser Punkt ist in den letzen Jahren immer wichtiger geworden und hat dafür gesorgt, dass die bei großen Motoren in der Anlaufphase auftretende Überspannung immer mehr Beachtung findet. In diesem Abschnitt wird deshalb ein Überblick über die unterschiedlichen Einschaltarten einschließlich deren Vor-und Nachteile gegeben.

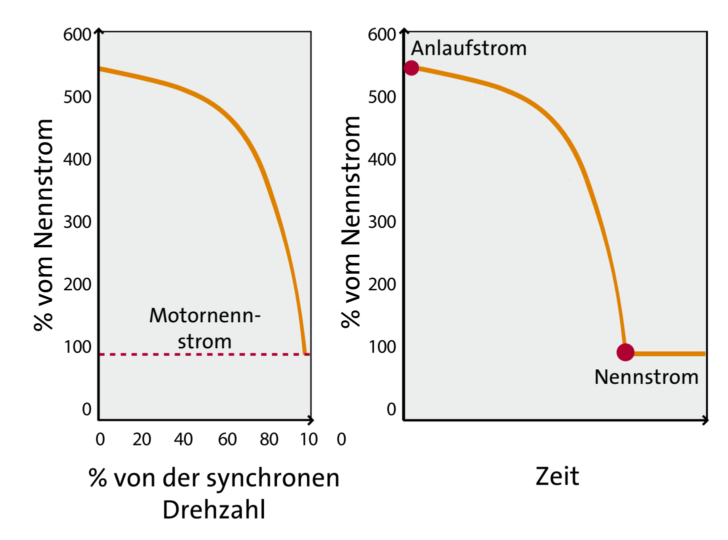
Einschaltstrom oder Anlaufstrom?

Wird ein Motor eingeschaltet, zieht er zunächst einen Überstrom, für den es unterschiedliche Bezeichnungen gibt: Anlaufstrom, Einschaltstrom oder Startstrom. Alle Begriffe bedeuten jedoch dasselbe: es fließt ein hoher Anfangsstrom, der fünf bis zehn Mal so hoch wie der Nennstrom ist. Dieser hohe Spitzenstrom nimmt dann beim Beschleunigen des Motors bis zum Erreichen der Betriebsdrehzahl wieder ab.

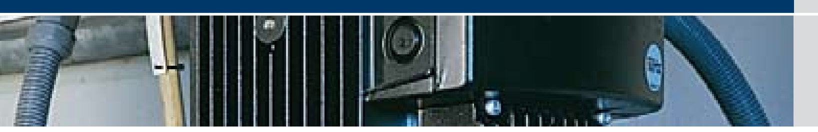
Um den Anlaufstrom auf einen durch örtliche Bestimmungen vorgeschriebenen Wert zu reduzieren, werden unterschiedliche Einschaltarten verwendet. Ein wichtiges Ziel ist dabei auch, große Spannungsabfälle im Versorgungsnetz zu vermeiden.

Auf den folgenden Seiten werden deshalb die am häufigsten verwendeten Einschaltarten beschrieben: Direktanlauf, Stern-Dreieck-Anlauf, Anlauf über einen Spartransformator, Sanftanlauf und Anlauf über einen Frequenzumrichter.

Anlaufstrom in der Beschleunigungsphase



Der Spitzenstrom nimmt beim Beschleunigen des Motors bis zum Erreichen der Nenndrehzahl wieder ab.



Direktanlauf

Wie die Bezeichnung bereits besagt, bedeutet Direktanlauf, dass der Motor beim Einschalten direkt mit der Spannungsversorgung verbunden ist, die der Nennspannung entspricht. Der Direktanlauf (DOL) ist geeignet, wenn eine stabile Spannungsversorgung vorliegt und die Welleneinheit – wie z.B. bei Pumpen – ausreichend dimensioniert ist.

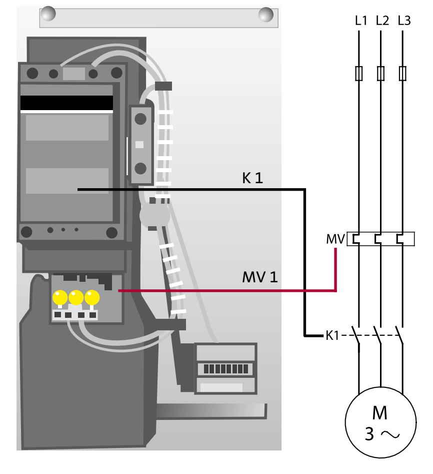
Vorteile

Der Direktanlauf ist die einfachste, kostengünstigste und am häufigsten verwendete Einschaltart. Zudem ist bei dieser Einschaltart im Vergleich zu allen anderen Einschaltarten der Temperaturanstieg während der Motoranlaufphase am geringsten. Solange der Verwendung keine Auflagen des Energieversorgungsunternehmens oder der zuständigen Behörden entgegenstehen, ist diese Einschaltart die beste Wahl. In den verschiedenen Ländern gelten jedoch unterschiedliche Bestimmungen und Vorschriften bezüglich der Nutzung des von Kraftwerken gelieferten Stroms. So dürfen z.B. in Dänemark Motoren mit Anlaufströmen über 60 A nicht über eine Direktschaltung betrieben werden. In diesen Fällen muss dann zwingend eine andere Einschaltart gewählt werden. Motoren, die häufig ein- und ausgeschaltet werden, besitzen eine Art Überwachungssystem, das aus einem Schütz und einem Überlastschutz, wie z.B. einem Thermorelais, besteht.

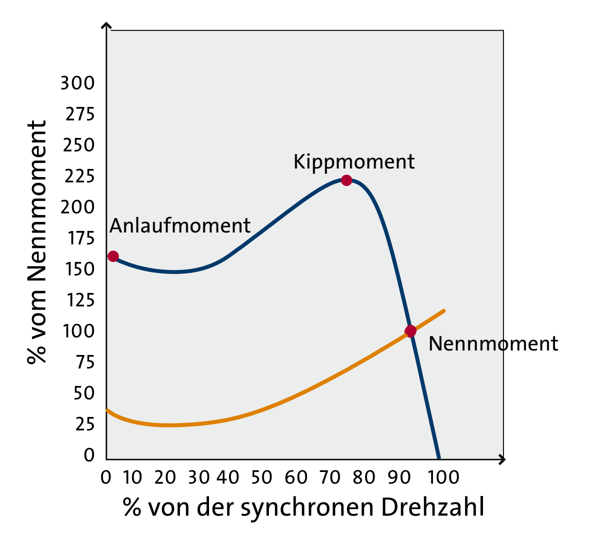
Nachteile

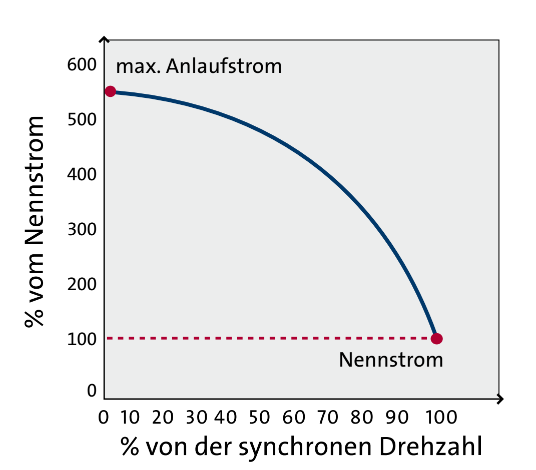
Kleine Motoren, die selten ein- und ausgeschaltet werden, benötigen nur eine einfache Anlaufvorrichtung. Häufig wird zum Einschalten deshalb nur ein handbetätigter Motorschutzschalter vorgesehen.

Dabei werden die Motorklemmen beim Einschalten direkt mit der vollen Spannung beaufschlagt. Bei kleinen Motoren liegt das Anlaufmoment zwischen 150 % und 300 % vom Nenndrehmoment, während der Anlaufstrom 300 bis 800 % des Nennstroms beträgt oder sogar noch höher ist.



K 1 = Hauptschütz
MV 1 = Überlastrelais







Stern-Dreieck-Anlauf

Mit Hilfe dieser bei dreiphasigen Induktionsmotoren verwendeten Einschaltart wird der Anlaufstrom deutlich reduziert. Beim Einschalten und während der Anlaufphase sind die Statorwicklungen in Stern(Y)-Schaltung an die Spannungsversorgung angeschlossen. Nach Erreichen der Betriebsdrehzahl werden die Wicklungen dann auf die Dreieck(Δ)-Schaltung umgeschaltet.

Vorteile

In der Regel sind Niederspannungsmotoren über 3 kW entweder für den Betrieb mit 400 V bei Dreieck(Δ)-Schaltung oder mit 690 V bei Stern(Y)-Schaltung ausgelegt. Die durch diese Bauweise gegebene Flexibilität kann auch für das Einschalten des Motors mit einer niedrigeren Spannung genutzt werden. So ermöglicht die Stern-Dreieck-Schaltung eine Reduzierung des Anlaufstroms auf ein Drittel im Vergleich zum Direktanlauf. Sie ist damit hauptsächlich für Anwendungen mit hohen Trägheitsmomenten geeignet, bei denen die Last erst nach Erreichen der Nenndrehzahl beschleunigt wird.

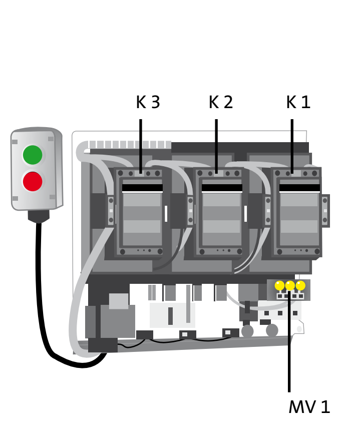
Nachteile

Durch die Stern-Dreieck-Schaltung wird jedoch auch das Anlaufmoment auf bis zu 33 % reduziert. Der Motor läuft in der Stern-Schaltung an und beschleunigt. Danach wird auf die Dreieck-Schaltung umgeschaltet. Diese Einschaltart kann nur in Verbindung mit Induktionsmotoren verwendet werden, die in Dreieck-Schaltung an die Spannungsversorgung angeschlossen sind.

Erfolgt die Umschaltung auf Stern-Dreieck bei einer zu niedrigen Drehzahl, kann es zu Stromspitzen kommen. Dabei kann der Strom kurzzeitig Werte wie bei der Direkteinschaltung annehmen.

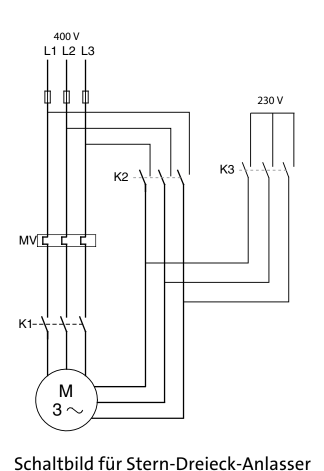
Obwohl der Zeitabschnitt sehr kurz ist, verliert der Motor während des Umschaltens von Stern auf Dreieck erheblich an Drehzahl. Deshalb benötigt der Motor nach dem Umschalten zunächst höhere Stromimpulse.

Die beiden unteren Diagramme auf der rechten Seite zeigen zwei charakteristische Eigenschaften, die beim Stern-Dreieck-Anlauf zu beachten sind. Die Anlaufvorrichtung verbindet den Motor zunächst in Stern-Schaltung (Schütz K1 und K3). Nach einer bestimmten Zeit, die von den einzelnen Anforderungen abhängt, wird der Motor auf die Dreieck-Schaltung umgeschaltet, d.h. der Schütz K3 öffnet und der Schütz K2 schließt.

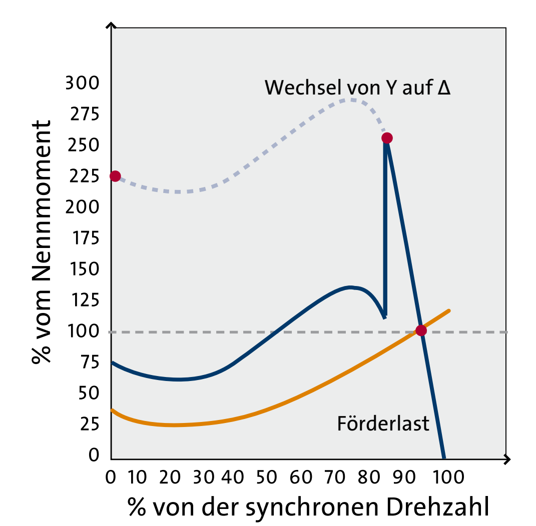


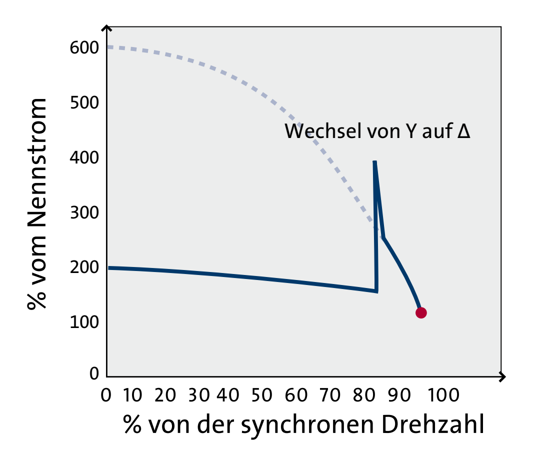
Stern-Dreieck-Anlasser mit Schützen und Überlastrelais

K 1 = Hauptschütz
K 2 = Dreieckschütz
K 3 = Sternschütz
MV 1 = Überlastrelais



Schaltbild für Stern-Dreieck-Anlasser





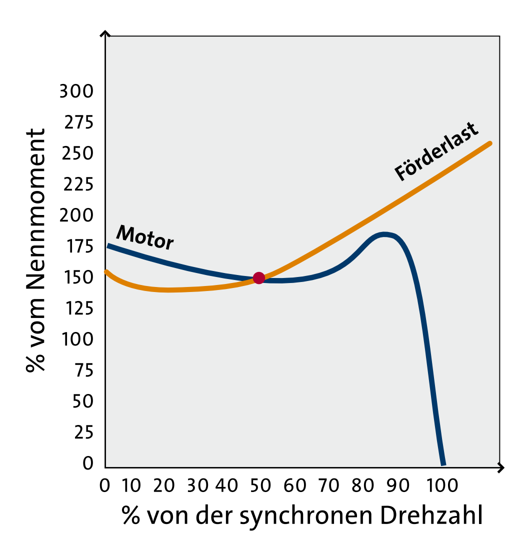


Stern-Dreieck-Anlauf

Grundfos Pumpen und Motoren, bei denen auf dem Typenschild als Versorgungsspannung 3 x 380 - 415 V Δ, aber nicht zusätzlich 690 V Y angegeben ist, können trotzdem über einen Stern-Dreieck-Anlasser eingeschaltet werden, weil die tatsächlich an den Motor angelegte Spannung niemals 400 V überschreitet.

Der Anlaufstrom aber auch das Anlaufmoment sind beim Stern-Dreieck-Anlauf sehr viel geringer als beim Direktanlauf. Die Werte betragen nur ca. ein Drittel des entsprechenden DOL-Wertes.

Im Diagramm auf der rechten Seite erfolgt eine Gegenüberstellung der vom Motor gelieferten Drehmoment-Drehzahlkurve und der benötigten Lastdrehmoment-Drehzahlkurve. In dem hier gezeigten Beispiel beschleunigt der Motor auf ca. 50 % der Nenndrehzahl.



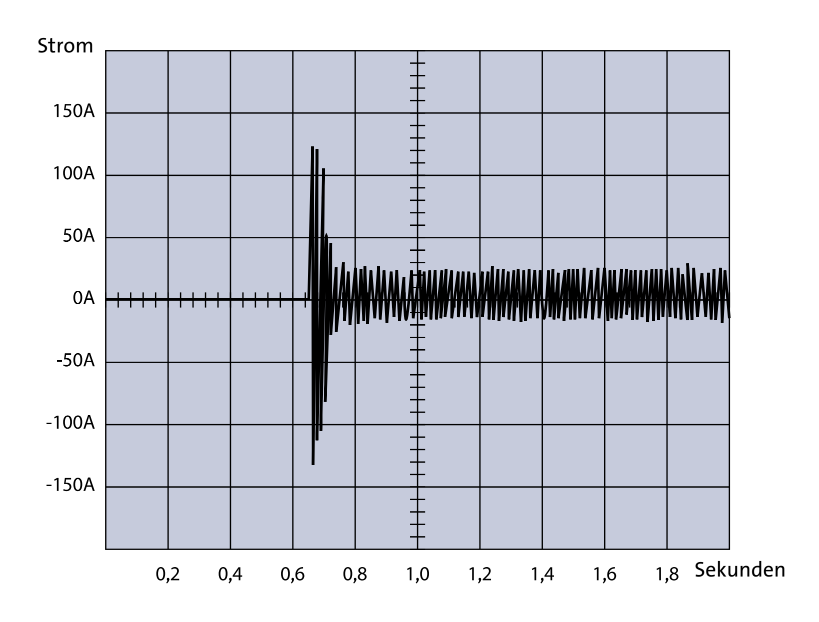
Gegenüberstellung der vom Motor gelieferten Drehmoment-Drehzahlkurve und der benötigten Lastdrehmoment-Drehzahlkurve. In dem hier gezeigten Beispiel beschleunigt der Motor auf ca. 50 % der Nenndrehzahl.



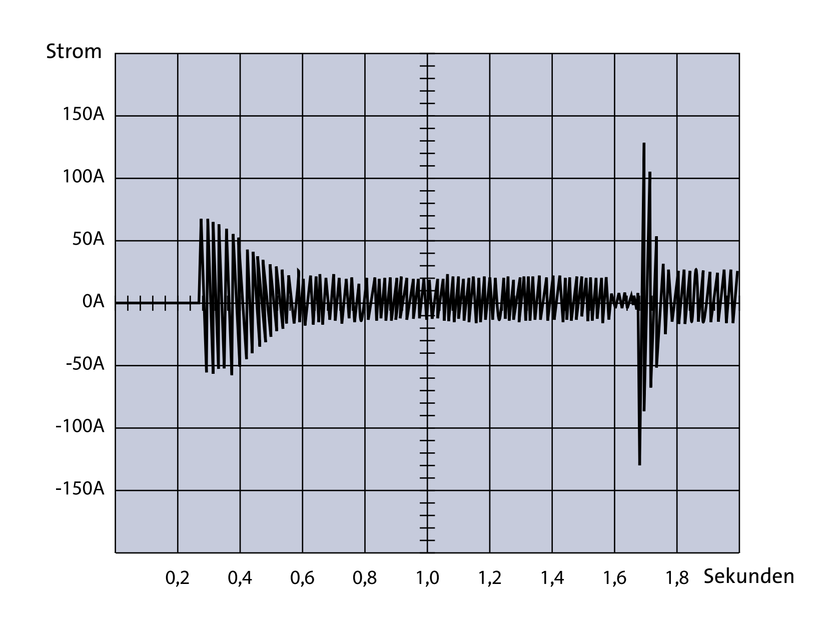
Gegenüberstellung von Direktanlauf und Stern-Dreieck-Anlauf

Die beiden Diagramme auf der rechten Seite zeigen den Anlaufstrom einer Grundfos CR-Pumpe mit Grundfos MG-Motor mit 7,5 kW einmal mit Direkt-Schaltung und einmal mit Stern-Dreieck-Schaltung. Wie aus dem oberen der beiden Diagramme ersichtlich ist der Anlaufstrom beim Direktanlauf zunächst sehr hoch. Im weiteren Verlauf flacht der Strom etwas ab und nimmt dann einen konstanten Wert an. Beim Stern-Dreieck-Anlauf hingegen ist der Anlaufstrom zunächst geringer. Es treten dann aber im späteren Verlauf beim Umschalten von Stern auf Dreieck Stromspitzen auf.

Zu Beginn der Anlaufphase in der Sternschaltung (t = 0,3 s) ist der benötigte Strom kleiner. Beim Umschalten von Stern auf Dreieck nach ca. 1,7 s erreicht der Stromimpuls jedoch dasselbe Niveau wie der Anlaufstrom bei der Direktschaltung. Der Stromimpuls kann sogar noch höher ausfallen, weil der Motor in der Umschaltphase kurzzeitig spannungslos ist und deshalb an Drehzahl verliert, bevor dann die volle Spannung (Dreiecksspannung) anliegt.



Direktanlauf eines Grundfos Motors mit 7,5 kW, der eine Grundfos CR-Pumpe antreibt



Stern-Dreieck-Anlauf eines Grundfos Motors mit 7,5 kW, der eine Grundfos CR-Pumpe antreibt



Anlauf über Spartransformator

Beim Sanftstart kommt ein Spartransformator zum Einsatz, der während der Anlaufphase in Reihe mit dem Motor geschaltet ist.

Vorteile

Der Spartransformator verfügt über mehrere Umformer, die häufig eine doppelte Spannungsreduzierung ermöglichen. Indem der zweite Spannungskreis während der Anlaufphase abgeschaltet wird, ergibt sich eine geringe Anlaufspannung, die ca. 50 - 80 % der Nennspannung beträgt. Je nach erforderlichem Anlaufmoment/ Anlaufstrom wird somit nur ein Spannungskreis verwendet. Durch die Spannungsreduzierung sinken natürlich auch der Anlaufstrom und das Anlaufmoment. Dennoch bietet dieses Verfahren das höchste Motordrehmoment bezogen auf ein Ampere. Und zu keinem Zeitpunkt ist der Motor spannungslos, so dass seine Drehzahl wie beim Stern-Dreieck-Anlauf nicht kurzzeitig abfällt. Zur Anpassung an spezielle Anforderungen kann die Umschaltzeit zwischen reduzierter und voller Spannung entsprechend eingestellt werden.

Nachteile

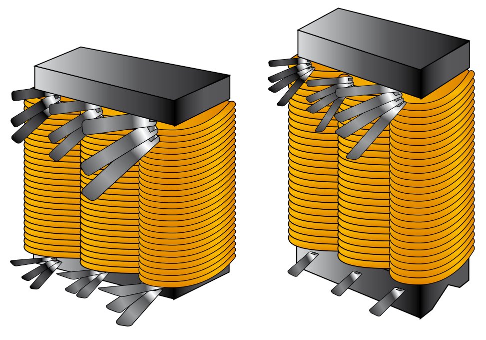
Neben der Reduzierung des Anlaufmoments hat die Einschaltung über einen Sanftanlasser noch einen weiteren gravierenden Nachteil.
Nach dem Anlaufen des Motors wird auf die Netzspannung umgeschaltet. Dabei entsteht ein Stromstoß.

Verhältnis zwischen Drehmoment und Spannung

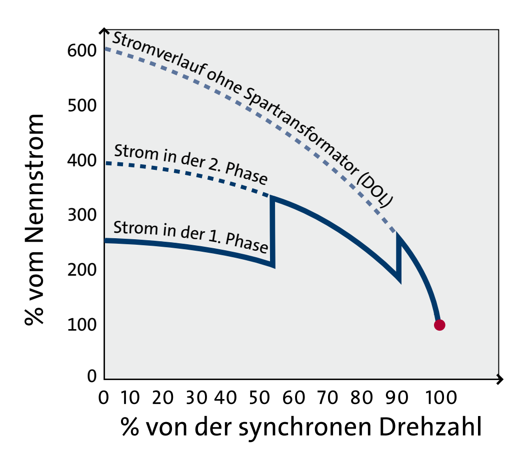
Das Anlaufmoment wird in dem Maße abgesenkt, wie das Quadrat der Spannungsabnahme.

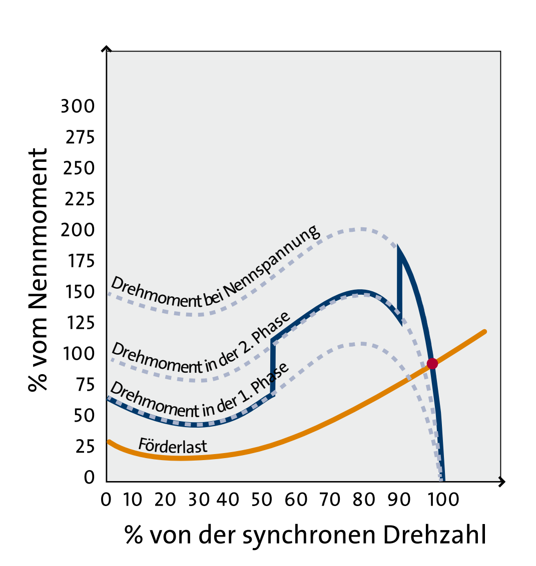
$$\left(\frac{\text{Spannung}_2}{\text{Spannung}_1}\right)^2 = \frac{\text{Drehmoment}_2}{\text{Drehmoment}_1}$$

$$\left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = \frac{T_2}{T_1}$$



Spartransformatoren und Drosselspulen







Sanftanlauf

Ein Sanftanlasser ist, wie der Name bereits ausdrückt, ein Gerät, das für einen sanften Anlauf des Motors sorgt.

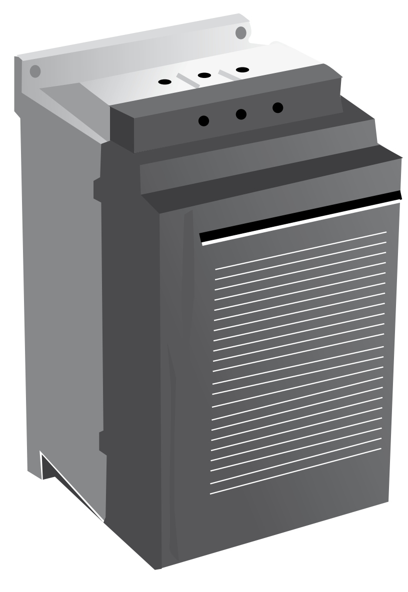
Vorteile

Sanftanlasser basieren auf Halbleitern. Die Halbleiter reduzieren über den Leistungskreis und einen Steuerkreis die Anfangsspannung des Motors. Dadurch nimmt das Motordrehmoment entsprechend ab. Während der Anlaufphase erhöht der Sanftanlasser nach und nach die Motorspannung und ermöglicht so dem Motor unter Last ohne das Entstehen von hohen Momenten oder Stromspitzen auf die Nenndrehzahl zu beschleunigen.
Sanftanlasser können aber auch zum Regeln des Herunterfahrens eingesetzt werden. Sie sind dabei günstiger als Frequenzumrichter, die bezüglich der Einschaltart eine vergleichbare Funktionalität bieten.

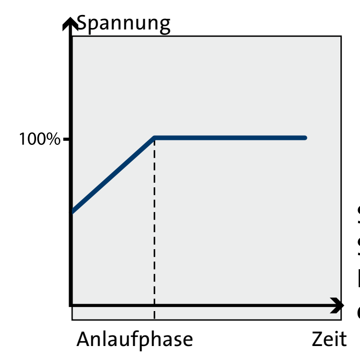
Nachteile

Sanftanlasser haben jedoch auch dieselben Nachteile wie Frequenzumrichter: Sie induzieren unter Umständen Oberschwingungsströme in das Stromnetz, die andere Geräte oder Funktionsabläufe stören können.

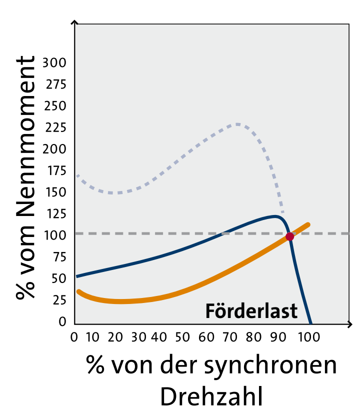
Bei dieser Einschaltart wird der Motor während der Anlaufphase mit einer geringeren Spannung versorgt. Zunächst wird der Motor von einer über den Sanftanlasser reduzierten Spannung gespeist, die dann über eine Rampe auf den vollen Wert ansteigt. Die Spannungsreduzierung erfolgt im Sanftanlasser über einen Phasenwinkel. Bei dieser Einschaltart treten keine Stromstöße auf. Die Hochlaufzeit und der Anlaufstrom können eingestellt werden.

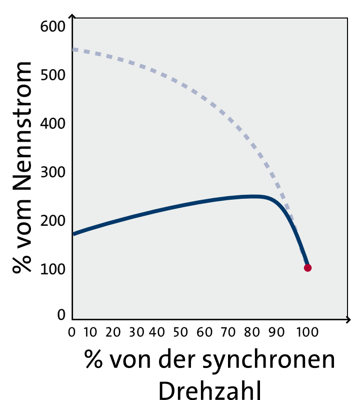


Sanftanlasser



Spannungsanstieg bei Sanftanlassern.
Die Hochlaufzeit beträgt ca. 1 Sekunde.







Anlauf über Frequenzumrichter

Frequenzumrichter sind in der Regel dafür bestimmt, den Motor kontinuierlich mit Spannung zu versorgen. Sie können aber auch nur zum Einschalten des Motors verwendet werden.

Vorteile

Der Frequenzumrichter ermöglicht kleine Anlaufströme, weil der Motor sein Nennmoment bei Nennstrom im Bereich von Null bis maximaler Drehzahl erzeugen kann. Frequenzumrichter werden zudem immer preisgünstiger. Sie werden deshalb immer häufiger in Anwendungen eingesetzt, in denen bisher Sanftanlasser vorgesehen worden sind.

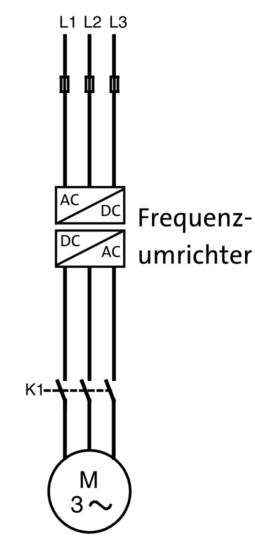
Nachteile

Dennoch sind Frequenzumrichter in den meisten Fällen immer noch teurer als Sanftanlasser. Und auch sie induzieren Oberschwingungsströme in das Stromnetz.

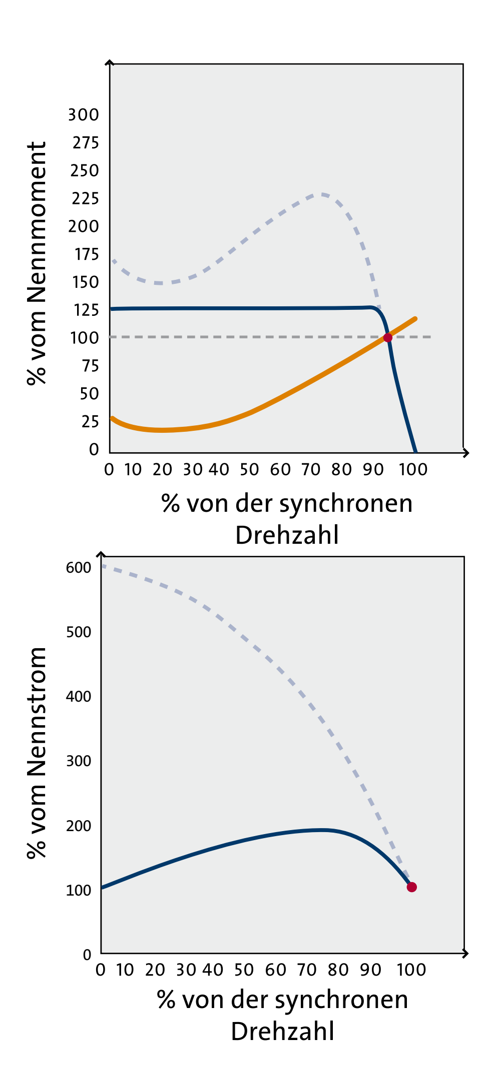




Frequenzumrichter



Schaltbild eines über einen Frequenzumrichter betriebenen Motors





Hochlaufzeiten

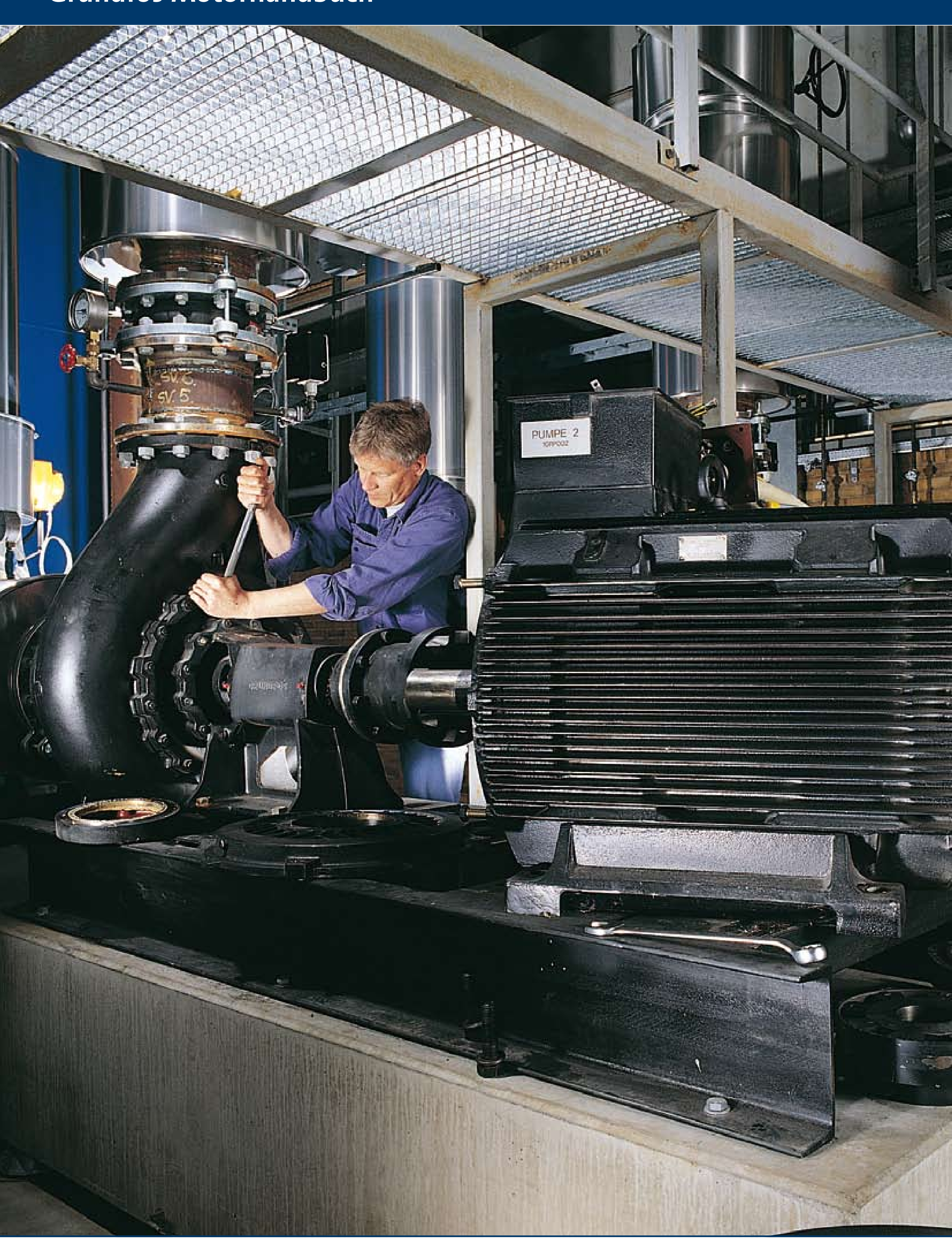
Bei den Einschaltarten, die den Anlaufstrom reduzieren, darf die Hochlaufzeit nicht zu lang sein. Denn lange Hochlaufzeiten bedeuten eine unnötige Erwärmung der Wicklungen.

Zusammenfassung

Das Hauptziel aller Einschaltarten ist, den Drehmomentverlauf an die mechanische Last anzupassen und gleichzeitig dafür zu sorgen, dass das Versorgungsnetz durch die zwangsläufig auftretenden Stromspitzen nicht zu stark belastet wird. Dabei gibt es viele verschiedene Einschaltarten, die unterschiedliche Eigenschaften besitzen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Haupteigenschaften der am häufigsten verwendeten Einschaltarten zusammengefasst.

Einschaltart	Vorteile	Nachteile
Direktanlauf (DOL)	Einfach und kostengünstig. Sicherer Anlauf. Höchstmögliches Anlaufmoment.	Hoher Anlaufstrom.
Stern-Dreieck-Anlauf (SD)	Reduzierung des Anlaufstroms um Faktor 3.	Hohe Stromstöße beim Umschalten von Stern auf Dreieck. Nicht geeignet für Anwendungen mit kleinem Trägheitsmoment. Reduziertes Anlaufmoment.
Spartransformator	Reduzierung des Anlaufstroms um u_2. Dabei ist u die Spannungsabnahme, z.B. 60 % = 0,60.	Auftreten von Stromstößen beim Umschalten von reduzierter auf die volle Spannung. Reduziertes Anlaufmoment.
Sanftanlasser	Sanftes Anlaufen. Keine Stromstöße. Geringere Druckstöße beim Anlaufen der Pumpe. Reduzierung des Anlaufstroms nach Bedarf, in der Regel um das 2- bis 3-fache.	Reduziertes Anlaufmoment.
Frequenzumrichter	Keine Stromstöße. Geringere Druckstöße beim Anlaufen der Pumpe. Reduzierung des Anlaufstroms nach Bedarf, in der Regel um den Nennstrom. Kann auch zur Energieeinsparung permanent für die Spannungsversorgung des Motors eingesetzt werden.	Reduziertes Anlaufmoment. Teuer.




PUMPE 2

11. Wartung



Motorwartung

Um Ausfälle und Störungen zu vermeiden und die Lebensdauer zu verlängern, müssen Motoren regelmäßig gewartet werden. Die Wartung und Überprüfung der Motoren und Motorbauteile sollten dabei mindestens alle 6 Monate durchgeführt werden. Nur so kann die Funktionsfähigkeit und der Wirkungsgrad des Motors erhalten bleiben. In diesem Kapitel werden drei unterschiedliche Wartungsmethoden bzw. Instandhaltungsmethoden vorgestellt: die vorbeugende, vorausschauende und reagierende Instandhaltung bzw. Wartung.

Vorbeugende Instandhaltung

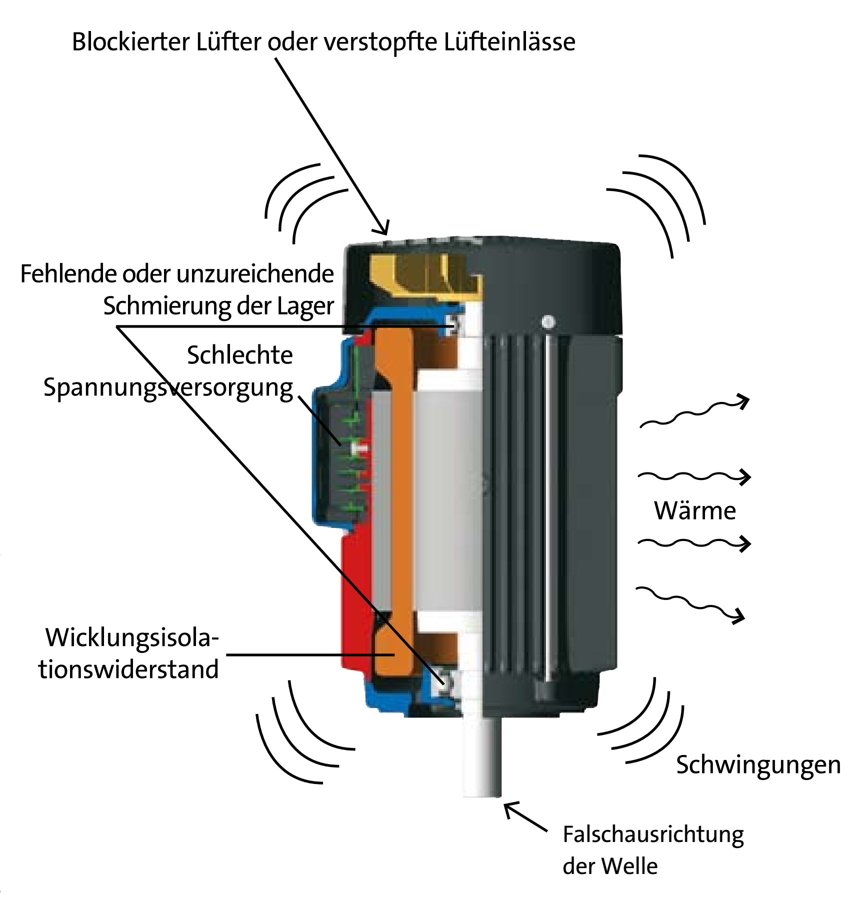
Das Ziel dieser Instandhaltungsmethode ist, Betriebsstörungen zu verhindern und sicherzustellen, dass der Motor ständig zuverlässig läuft. Gewöhnlich ist die vorbeugende Instandhaltung Teil der planmäßigen Wartung eines gesamten Systems.

Vorausschauende Instandhaltung

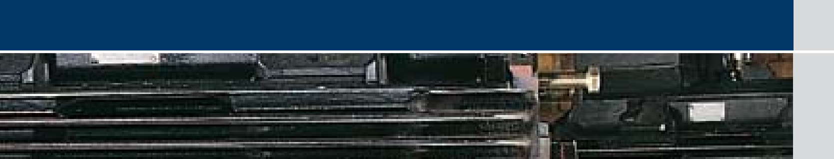
Die Zielsetzung dieser Wartungsmethode ist, zu gewährleisten, dass bestimmte Wartungsarbeiten zur richtigen Zeit durchgeführt werden. Um beide Parameter vorherbestimmen zu können, muss der Motorbetrieb regelmäßig überwacht werden. Auf diese Weise lassen sich Probleme erkennen, bevor sie zu Betriebsstörungen oder Ausfällen führen. Durch das Aufzeichnen von Daten kann die Entwicklung zahlreicher Parameter analysiert werden. Mögliche Probleme können so rechtzeitig aufgedeckt werden.

Reagierende Instandhaltung

Bei dieser Instandhaltungsmethode wird der Motor erst repariert oder ausgetauscht, wenn eine Störung aufgetreten ist. Die reagierende Instandhaltung, die auch als Ausfallinstandhaltung bezeichnet wird, beinhaltet somit keine regelmäßige Wartung oder Überprüfungen.



Faktoren, die die Lebensdauer des Motors verkürzen und auf mangelnde oder fehlende Wartung zurückzuführen sind



Wissenswertes zur vorbeugenden Instandhaltung

Unerwartete Ausfälle sind häufig mit hohen Kosten verbunden, wenn z.B. der gesamte Fertigungsprozess ganz oder teilweise unterbrochen werden muss. Durch eine regelmäßig durchgeführte vorbeugende Wartung kann eine Störung am Motor verhindert werden, so dass es gar nicht erst zu einem unerwarteten Produktionsausfall kommen muss. Auf den folgenden Seiten werden die wichtigsten Punkte beschrieben, die zu einer vorbeugenden Instandsetzung bzw. Wartung gehören.

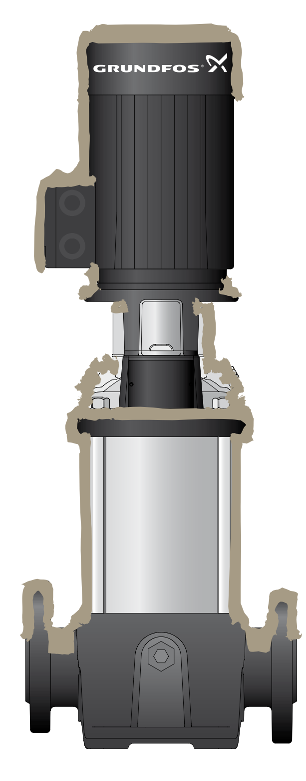
Motorbelüftung

Wird der Motor an einem schlecht belüfteten Ort betrieben, kann die Motortemperatur so hohe Werte annehmen, dass die Motorisolierung beschädigt oder das Lagerfett in seiner Wirkung beeinträchtigt werden kann. In diesem Fall sind Motorausfälle vorprogrammiert. Die Lüftungsbohrungen setzen sich häufig durch Staub und Verschmutzungen allmählich zu. Um den Motor vor Überhitzung zu schützen, müssen die Verschmutzungen deshalb regelmäßig z.B. mit Hilfe von Druckluft entfernt werden.

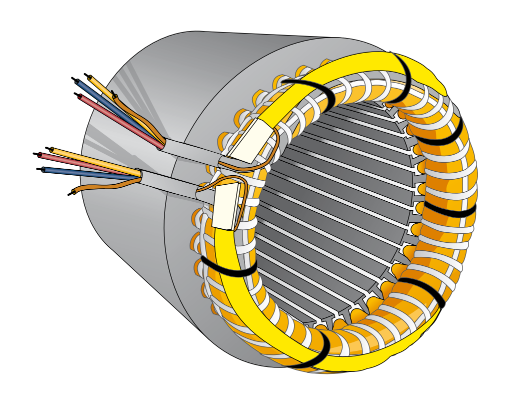
Auch wenn die Motoren vor Übertemperatur geschützt sind, sind sie immer an einem gut belüfteten Ort aufzustellen, um Schäden an der Isolierung und den Lagern zu vermeiden. Je geringer die Motortemperatur während des Betriebs ist, desto höher ist die Lebensdauer des Motors. Deahalb sollten die Lüfterabdeckung und Kühlrippen sauber gehalten werden.

Feuchtigkkeit und Kondenswasserbildung

Bei Motoren mit der Schutzart IP 55, deren Ablaufbohrungen verschlossen sind, kann sich im Innern Kondenswasser bilden, dass dann in die Motorwicklungen und Lager eindringt. Deshalb muss bei diesen Motoren auch in Stillstandsphasen die Temperatur im Motor immer höher als die Umgebungstemperatur sein. Eine andere Möglichkeit ist, den Stopfen der Ablaufbohrung zu entfernen, damit das Kondenswasser abfließen kann. Durch das Entfernen des Stopfens ändert sich jedoch die Schutzart des Motors von IP 55 auf IP 44.



Die Lüftungsöffnungen sind häufig durch Staub und andere Verschmutzungen ganz oder teilweise verstopft.



Stator mit Heizelement zur Vermeidung von Kondenswasserbildung



Wissenswertes zur vorbeugenden Instandhaltung

Lose Anschlussleitungen

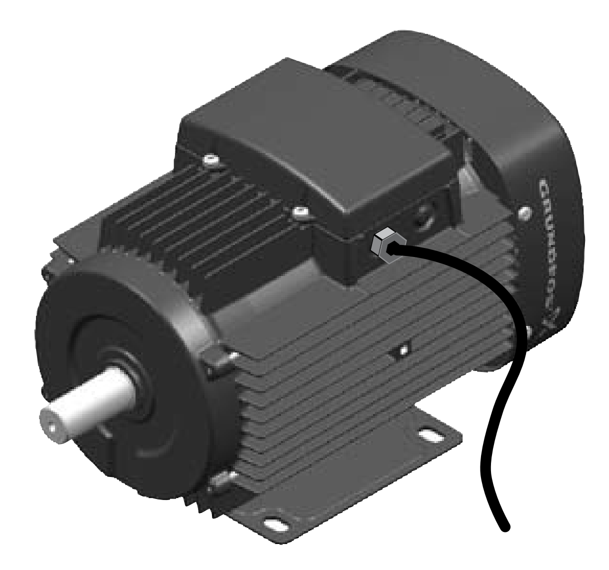
Alle elektrischen Verbindungen sind auf festen Sitz zu prüfen. Elektrische Schraubanschlüsse sind mit dem empfohlenen Anzugsmoment festzuziehen. Kaltfließen und Fließdehnung während der Belastungsphasen kann zu Verbindungsfehlern führen. Besonders an Sicherungen, Kabelanschlüssen und Motorschutzschaltern lösen sich mit der Zeit die Verbindungen. Sie sollten deshalb ebenfalls regelmäßig überprüft werden.

Spannungs- und Stromasymmetrien

Auch Spannungs- und Stromasymmetrien beeinflussen die Leistungsfähigkeit und Lebensdauer eines Motors. Aus diesem Grund sollten die Spannungs- und Stromwerte regelmäßig gemessen werden, um Motorprobleme zu vermeiden. Spannungsasymmetrien treten auf, wenn die Spannungen an den drei Phasen unterschiedlich sind. Daraus ergeben sich gleichzeitig ungleichmäßige Leiterströme und dies führt dann zu unterschiedlichen Problemen, wie z.B.: Schwingungen, Drehmomentschwankungen und Überhitzung einer oder mehrerer Phasenwicklungen. Durch die Spannungsasymmetrie sinkt der Motorwirkungsgrad und die Lebensdauer des Motors wird verkürzt.

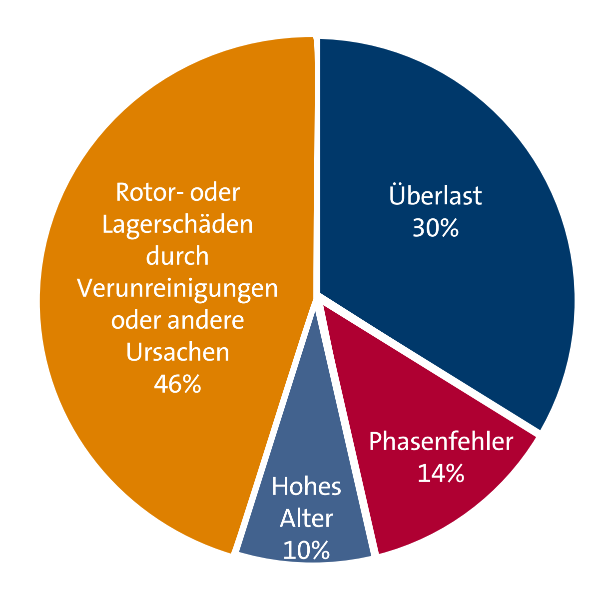
Unterspannung und Überspannung

Durch Unter- und Überspannung wird die Statorisolierung des Motors einem erhöhten Verschleiß ausgesetzt. Unterspannung führt zu einer erhöhten Temperaturbelastung der Isolierung. Denn bei geringerer Spannung läuft der Motor mit einem schlechteren Volllastwirkungsgrad. Die höheren Verluste treten in Form von Wärme auf, so dass der Motor sich stärker erwärmt. Außerdem besitzt der Motor dann einen größeren Schlupf und erzeugt ein geringeres Drehmoment. Auch die Lebensdauer des Motors kann dadurch herabgesetzt werden. Gegenüber Überspannung hingegen sind Induktionsmotoren in der Regel weniger empfindlich. Dennoch kann eine hohe Überspannung zu Wicklungsschluss, Phasenschluss oder einem Kurzschluss zwischen Phase und Erde führen. Hierbei handelt es sich um Kurzschlüsse zwischen den einzelnen Phasen oder zwischen den Phasen und Masse.

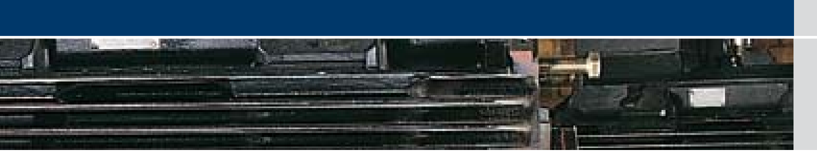


Alle elektrischen Verbindungen sind auf festen Sitz zu prüfen. Das erforderliche Anzugsmoment ist zu beachten.

Spannungsasymmetrie			
	U_{Phase} (V)	U_{Netz} (V)	Asymmetrie
1	410	$\frac{410 + 402 + 388}{3} = 400$ V	410 - 388 = 22 V
2	402		$\frac{22}{400} \cdot 100 = 5\%$
3	388		



Hauptursachen für Motorausfälle nach der Electrical Research Association, USA



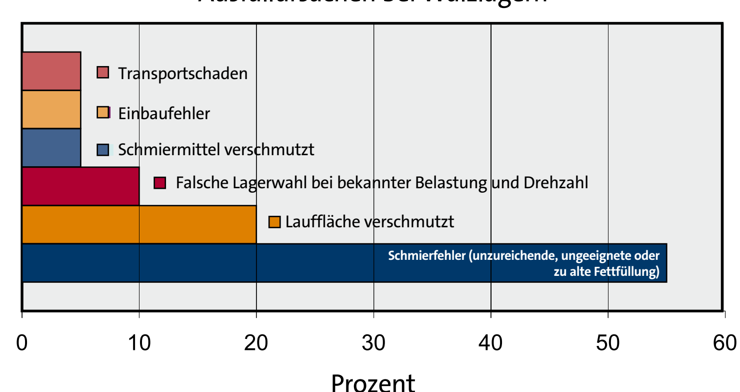
Lagerung

Heute gehören die Lager zu den Komponenten im Motor, die dem höchsten Verschleiß ausgesetzt sind. Grund dafür ist, dass in den letzten Jahren die Temperaturbelastung des Isolationssystems wegen der Verbesserung des Wirkungsgrads immer geringer wurde. Die Hauptausfallursache ist deshalb nicht mehr der Kurzschluss. Vielmehr führen jetzt Lagerschäden und Lagergeräusche die Schadensstatistik an. Deshalb sind bei der vorbeugenden Instandsetzung am Motor, die Wartung und der Austausch der Lager ein wichtiger Punkt.

Einige Lager tragen die Bezeichnung lebensdauergeschmiert oder wartungsfrei. Doch diese Bezeichnung ist missverständlich. Die Begriffe bedeuten nämlich keineswegs, dass diese Lager überhaupt keine Wartung benötigen.
Vielmehr müssen lebensdauergeschmierte oder wartungsfreie Lager gegebenfalls rechtzeitig ausgetauscht werden. Der Zeitpunkt ist dabei abhängig von der Lagerlebensdauer (L_{10h}) oder der Gebrauchsdauer des Fetts (F_{10h}), das zum Schmieren des Lagers verwendet wird. Die Lebensdauer der Lager liegt in der Regel zwischen 16.000 und 40.000 Stunden. Sie kann aber auch höher sein. Die Fettgebrauchsdauer beträgt unter normalen Betriebsbedingungen gewöhnlich mindestens 40.000 Stunden.

Lagerlebensdauer

Sind die Motorlast und die Motordrehzahl bekannt, kann die Lagerlebensdauer auf Grundlage der Werkstoffermüdigung ermittelt werden. Bei der Berechnung wird vorausgesetzt, dass die Lager korrekt eingebaut und richtig geschmiert werden. Nicht berücksichtigt werden erschwerte Betriebsbedingungen.



Ausfallursachen bei Wälzlagern.
Nur 1 % aller Wälzlager erreichen die erwartete Lebensdauer.



Lagerschmierung

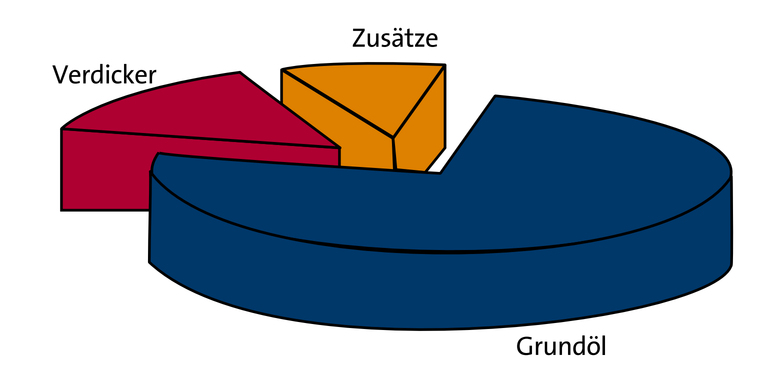
Standardmotoren sind entweder mit lebensdauergeschmierten Lagern ausgestattet, die einmalig während der Herstellung geschmiert werden, oder mit Lagern, die über Schmiernippel verfügen und nachgeschmiert werden können. Jedoch erreichen nur eine kleine Anzahl der Lager die optimal mögliche Lebensdauer. Der Grund dafür ist auch eine mangelnde Wartung. Die Hauptursachen für einen vorzeitigen Lagerausfall sind:

- Einbaufehler
- Verschmutzung
- Falsche Handhabung
- Falsche oder mangelnde Wartung
- Falsche oder keine Schmierung (Fett zu alt, falsche Fettmenge, Schmutz im Fett, usw.)

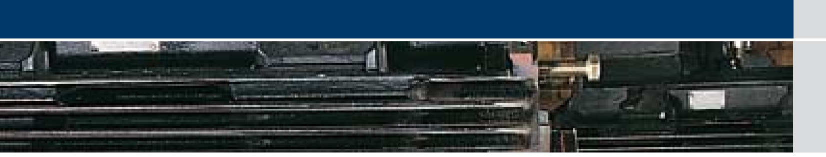
Schmierart

Es wird zwischen zwei Schmierarten unterschieden: Öl- und Fettschmierung. Grundsätzlich ist Öl das ideale Schmiermittel für Lager. Dennoch hat sich Fett über die Jahre immer mehr durchgesetzt. Fett besteht unter anderem aus Verdickern, die Seife enthalten können. Sie sorgen dafür, dass das Grundöl seine Schmierwirkung besser entfalten kann. Deshalb wird heute zur Lagerschmierung hauptsächlich Fett verwendet. Ein Grund dafür ist, dass die Lagergehäuse heute einfacher aufgebaut sind und deshalb weniger Wartung erfordern als früher. Zudem ist die Abdichtung gegen Schmutz und Feuchtigkeit sehr viel besser geworden.
So ist Fett heute ein sehr effektives Schmiermittel für Lager, das folgende Vorteile besitzt:

- Aufgrund seiner Beschaffenheit ist Fett einfacher zu handhaben als Öl.
- Fett wirkt als Dichtmittel und verhindert das Eindringen von Schmutz in das Lager.
- Einige Lager werden ab Werk mit einer Dauerfettfüllung versehen und abgedichtet. Sie benötigen bis zu ihrem Austausch keine Wartung und steigern so den Komfort.
- Durch dauergeschmierte und abgedichtete Lager werden die Anzahl der Bauteile im Motor reduziert. Lagerdeckel, Schmiernippel, usw. werden dann nicht mehr benötigt. Auf diese Weise werden Kosten gespart.



Zusammensetzung von Fett



Die Fettsorten unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung. Fette werden aus drei Bestandteilen hergestellt: Grundöl, Verdicker und Zusätze. Die Eigenschaften der Fettsorte werden hauptsächlich durch das Grundöl, die Ölviskosität, den Verdicker und den Gehalt an Verdicker bestimmt. Die physikalischen Eigenschaften, wie z.B. die Konsistenz oder das Fließverhalten, der Widerstand gegenüber Drehbewegungen, der Tropfpunkt, der Verdampfungsverlust und der Wasserauswaschverlust werden durch genormte Prüfverfahren ermittelt. Die Prüfverfahren helfen, die unterschiedlichen Fettsorten bezüglich ihrer Eignung für bestimmte Anwendung zu beurteilen. Heute gibt es eine Vielzahl an Fettsorten auf dem Markt mit unterschiedlichen Bezeichnungen und Eigenschaften.

In der Regel erreichen Motorlager höhere Temperaturen als andere Lager. Sie werden zum einen durch die Reibungswärme, die durch die Rotation der Wälzkörper entsteht, und durch die Wärmeverluste aus Motorwicklungen und Rotoranker erwärmt. Deshalb werden zur Schmierung von Motorlagern entweder Fettsorten mit Hochtemperatureigenschaften eingesetzt oder die Lager müssen regelmäßig nachgeschmiert werden. Alle Lagerhersteller bieten Fettsorten an, die besonders zum Schmieren der Lager von Elektromotoren geeignet sind.

In der Tabelle auf der rechten Seite sind die am häufigsten zur Schmierung von Motorlagern eingesetzten Fettsorten aufgeführt.

Schmierstoffe für Motoren

Grundsätzlich gilt, dass ein Lager immer mit derselben Fettsorte nachgeschmiert werden sollte, die auch bei der Erstfüllung verwendet wurde. Muss dennoch eine andere Fettsorte verwendet werden, sind alle Reste der alten Fettsorte vor dem Nachschmieren vollständig aus dem Lager zu entfernen.
Fettsorten mit unterschiedlichen Verdickern niemals ohne Rücksprache mit dem Fetthersteller mischen. Einige Fettsorten sind zwar untereinander verträglich. Dies ist jedoch nur schwer zu erkennen. Deshalb ist vor dem Mischen zweier Fettsorten immer der Hersteller der Fettsorten zu befragen.

Fettsorten für geschlossene, lebensdauergeschmierte Lager	
Chevron SRI-2 Grease	Polyharnstoff als Verdicker
Klüberquiet BQH 72-102	Polyharnstoff als Verdicker
Fettsorten für offene, nachschmierbare Lager	
EXXON UNIREX N3	Lithium als Verdicker
EXXON UNIREX N2	Lithium als Verdicker
Shell Alvania Grease G3	Lithium als Verdicker



Schmierintervalle

Die Schmierintervalle und Lagerbauart sind entweder auf dem Motortypenschild oder auf einem eigenen Aufkleber angegeben. Ist dies nicht der Fall, sind die Empfehlungen des Herstellers zu befolgen. Allgemein nimmt das Schmiervermögen von Fett mit der Zeit ab. Deshalb müssen die Lager nach einer bestimmten Zeit immer wieder nachgeschmiert werden. Die Schmierintervalle hängen dabei von folgenden Faktoren ab: der Baugröße des Motors, den Betriebsbedingungen, der verwendeten Fettsorte und vor allem von der Anzahl der Pole, der Betriebsdrehzahl und der Betriebstemperatur.
Aber auch andere Faktoren haben Einfluss auf das Schmierintervall. Dazu gehören:

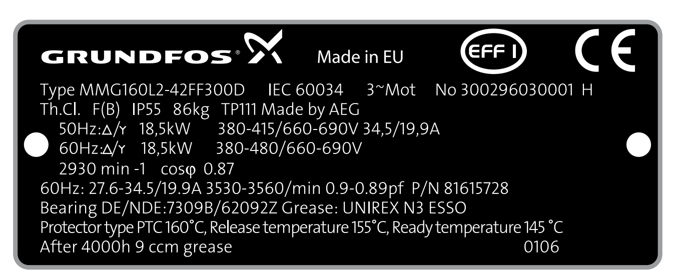
- vertikaler Einbau – Das Schmierintervall sollte um 50 % verkürzt werden.
- schmutzige/staubhaltige Umgebung – Das Schmierintervall sollte um 25 % verkürzt werden.
- feuchte Umgebung – Das Schmierintervall sollte um 10 % verkürzt werden.

Die Grundschmierfrist wird auf Grundlage eines Geschwindigkeitskennwerts bestimmt. Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt einen vereinfachten Kurvenverlauf, der Anhaltswerte für die Grundschmierfrist von für Motoren bestimmtes Hochtemperaturfett liefert. Die Grundschmierfrist t_f ist ein Maß für die Fettgebrauchsdauer F_{10h} mit einer Ausfallrate von ca. 10 %.

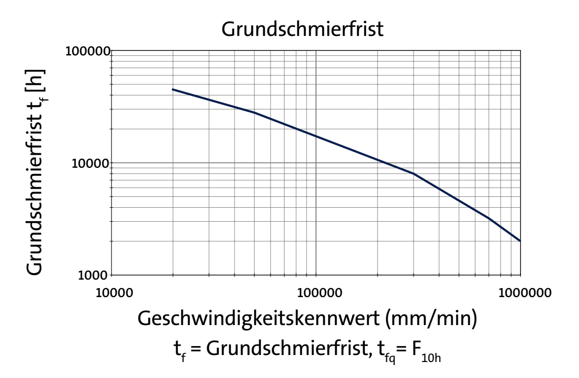
Weichen die Betriebsbedingungen von den normalen Betriebsbedingungen ab, ist die Grundschmierfrist t_f mit Hilfe von Korrekturfaktoren auf eine korrogierte Schmierfrist t_{fq} zu reduzieren.

$$F_{10h} \text{ oder } t_{fq} = t_f \bullet f_2 \bullet f_3 \bullet f_4 \bullet f_5 \bullet f_6$$

Bei sich ständig ändernden Betriebsbedingungen kann die tatsächliche, reduzierte Fettgebrauchsdauer erheblich kürzer als die Grundschmierfrist sein. Wird das verkürzte Schmierintervall nicht eingehalten, kann dies zu einer erheblich höheren Ausfallrate führen.



Die Informationen zum Nachschmieren sind in der Regel entweder auf einem eigenen Aufkleber, der auf dem Lüfterdeckel angebracht ist, oder direkt auf dem Motortypenschild angegeben.



t_f = Grundschmierfrist, $t_{fq} = F_{10h}$

Geschwindigkeitskennwert = $K_f \bullet n \bullet d_m$ [mm/min]

K_f : Lagerfaktor
Rillenkugellager = 1
Schrägkugellager = 1,6

n : Lagerdrehzahl [min^{-1}]

d_m: Mittlerer Lagerdurchmesser = $\frac{D+d}{2}$ [mm]
D = Außendurchmesser des Lagers [mm]
d = Innendurchmesser des Lagers [mm]

Korrekturfaktor		Abschwächungsgrad	Abschwächungswert
f_1	Staub und Feuchtigkeit auf den Lager-Wirkflächen	mittel	f_1 = 0,9 bis 0,7
		hoch	f_1 = 0,7 bis 0,4
		sehr hoch	f_1 = 0,4 bis 0,1
f_2	Einfluss von staubabhängigen Belastungen und Schwingungen	mittel	f_2 = 0,9 bis 0,7
		hoch	f_2 = 0,7 bis 0,4
		sehr hoch	f_2 = 0,4 bis 0,1
f_3	Erhöhte Lagertemperatur (Die angegebenen f_3-Faktoren gelten für Hochtemperaturfett)	90 °C	f_3 = 0,9 bis 0,6
		105 °C	f_3 = 0,6 bis 0,3
		120 °C	f_3 = 0,3 bis 0,1
f_4	Erhöhte Last	P/C* = 0,1 bis 0,15	f_4 = 1,0 bis 0,7
		P/C = 0,15 bis 0,25	f_4 = 0,7 bis 0,4
		P/C = 0,25 bis 0,35	f_4 = 0,4 bis 0,1
f_5	Luftstrom durch das Lager	geringer Luftstrom	f_5 = 0,7 bis 0,5
		hoher Luftstrom	f_5 = 0,5 bis 0,1
f_6	Senkrechte Welle	dichtungsabhängig	f_6 = 0,7 bis 0,5

* P = Äquivalente Lagerbelastung
C = Dynamische Lagertragzahl



Dauergeschmierte Lager

Der Austausch von dauergeschmierten Lagern erfolgt genauso wie der von offenen, nachschmierbaren Lagern. Das Austauschintervall für dauergeschmierte Lager ist in der Regel doppelt so lang wie das Nachschmierintervall von offenen Lagern. Die Lager sollten jedoch spätestens nach 40.000 Betriebsstunden ausgetauscht werden.

Austauschintervall für dauergeschmierte Lager
= 2 • Nachschmierintervall von offenen Lagern.

HINWEIS: Beim Austausch von lebensdauergeschmierten Lagern sind immer Lager zu verwenden, die mit derselben Fettsorte gefüllt sind. Grundfos Motoren sind z.B. mit Lagern ausgerüstet, die Hochtemperaturfett (Klüberquiet BQH 72-102) enthalten.

Schmierfettmenge

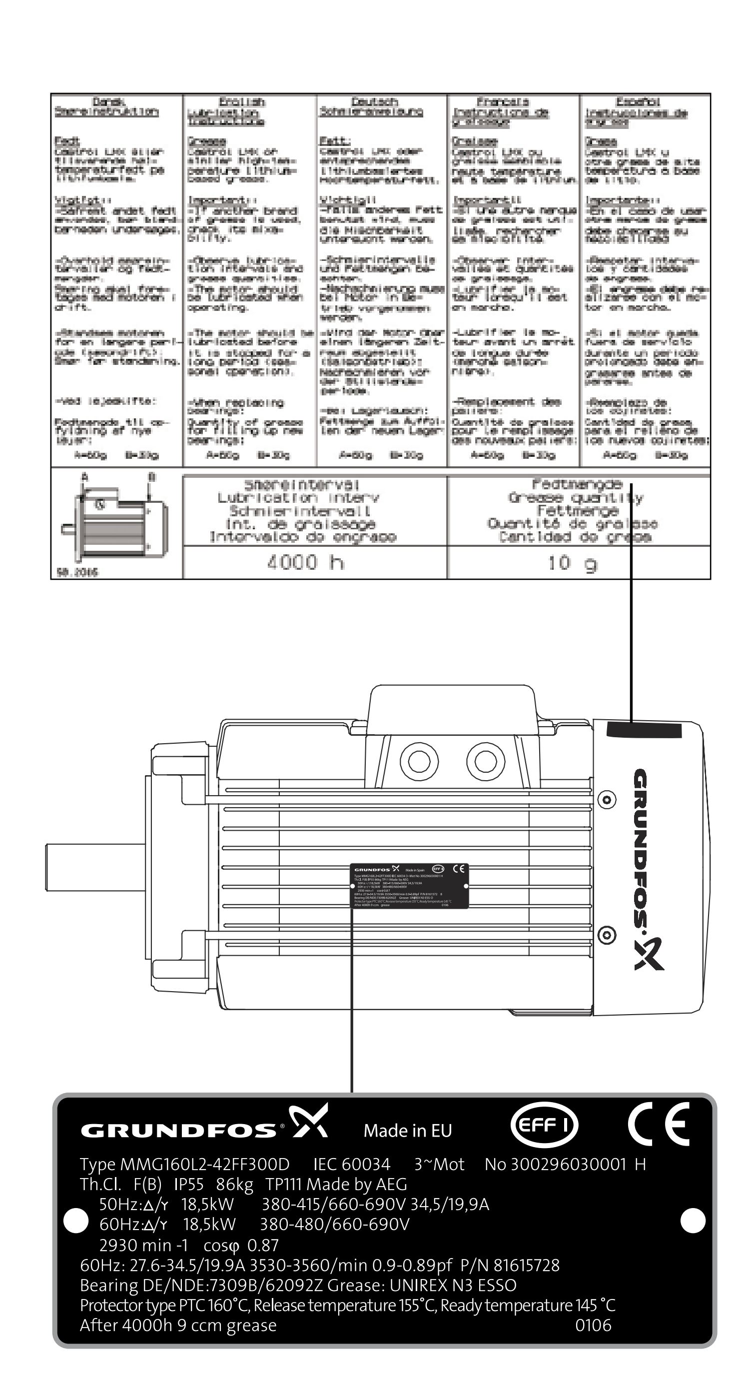
Es ist äußerst schwierig vorherzusagen, wie viel Fett zur Schmierung der Lager erforderlich ist. Denn die benötigte Fettmenge hängt von vielen Faktoren ab. Dazu gehören die Lagergröße, die Gehäuseform, der für die Lager zur Verfügung stehende Einbauraum, die Lagerdrehzahl und die verwendete Fettsorte. Als Richtwert gilt, dass die Lager zwischen 30 % und 60 % mit Fett gefüllt werden sollten.

Gewöhnlich ist die Nachschmiermenge entweder in der Schmieranweisung, auf dem Typenschild oder auf einem separat am Motor angebrachten Aufkleber angegeben. Ist dies nicht der Fall, kann die benötigte Schmierfettmenge mit Hilfe der folgenden Gleichung überschlägig berechnet werden:

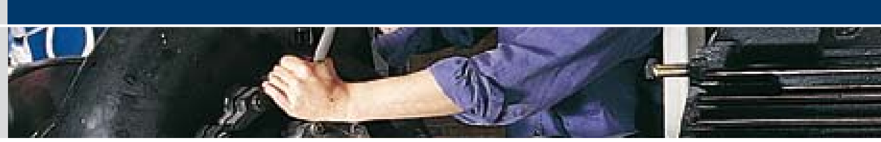
$$G = 0{,}005 \cdot D \cdot B$$

G = Schmierfettmenge (g)
D = Außendurchmesser des Lagers [mm]
B = Breite des Lagers (mm)

Dabei ist jedoch zu beachten, dass die Gleichung nur einen Anhaltswert für die zum Nachschmieren des Lagers benötigte Fettmenge liefert. Es ist zudem besser, das Lager häufiger unter Verwendung einer kleineren Fettmenge als nur selten und dann mit einer großen Fettmenge nachzuschmieren.



Die Informationen zum Nachschmieren sind in der Regel entweder auf einem eigenen Aufkleber, der auf dem Lüfterdeckel angebracht ist, oder direkt auf dem Motortypenschild angegeben.



Lagerung

Bei einigen Nachschmieranweisungen wird die Schmierfettmenge in cm^3 statt in g angegeben. Im Fall der Lagerschmierung erfolgt die Umrechnung zwischen Gewichts- und Volumenangabe nach der Gleichung:

Gewicht = 1,1 • Volumen
[g] = 1,1 • [cm^3]

Motoren mit Schmiervorrichtung

Motoren ab der Baugröße 160 besitzen in der Regel Schmiernippel zum Schmieren der Lager auf der Antriebsseite und Nicht-Antriebsseite.

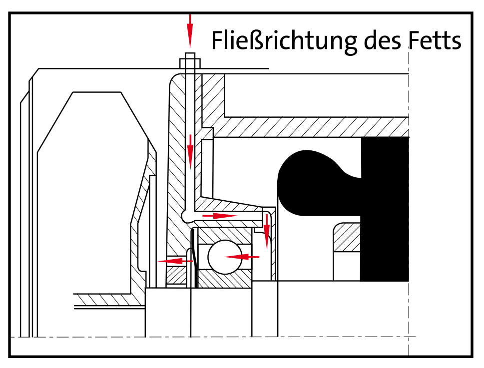
Die Schmiernippel sind normalerweise gut sichtbar angeordnet und leicht zugänglich. Das Fett gelangt dann über Kanäle zu den Lagern, die die Fließrichtung des Fetts vorgeben. Das neue Fett wird beim Nachschmieren in das Lager gedrückt und verdrängt das alte Fett automatisch aus dem Lager.

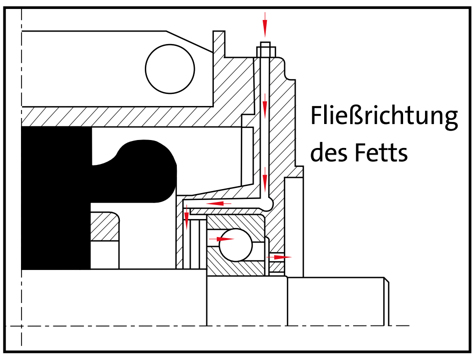
Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt beispielhaft, wie das alte Fett automatisch aus dem Lager entfernt wird und in einen freien Bereich austritt.

Motoren mit Schmiervorrichtung ist eine Schmieranweisung beigefügt, die z.B. als Aufkleber auf dem Lüfterdeckel angebracht ist. Zudem sind die Schmieranweisungen auch in der Montage- und Betriebsanleitung aufgeführt.

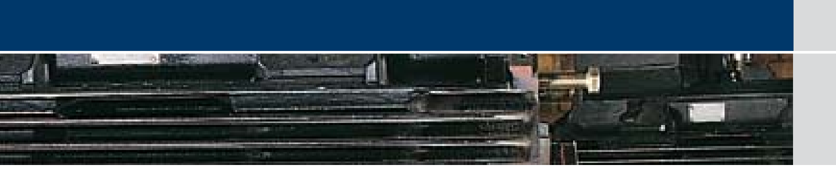
Als Schmiermittel wird ein Hochtemperaturfett auf Lithiumbasis verwendet, wie z.B. die Fettsorte EXXON UNIREX N3 oder Shell Alvania Grease G3. Das Grundöl muss dabei folgende Viskosität aufweisen:

- größer als 50 cSt (mm^2/s) bei 40°C und
  8 cSt (mm^2/s) bei 100 °C.





Aufbau der Schmiervorrichtung



Manuelles Nachschmieren

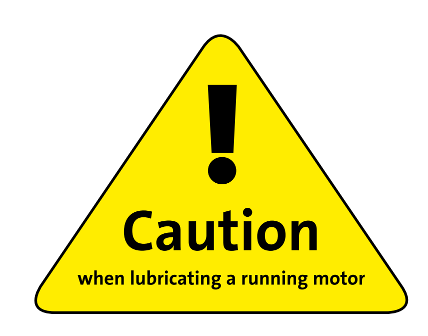
Beim manuellen Nachschmieren sind einige Punkte zu beachten und einige Schritte zu befolgen:

Schritt 1:
Zuerst ist der Fettaustrittsstopfen zu entfernen, falls vorhanden.

Schritt 2:
Danach wird das neue Fett mit Hilfe einer Fettpresse in das Lager gedrückt, bis das alte Fett aus der Fettaustrittsöffnung oder zwischen der Welle und dem Flansch austritt.

Schritt 3:
Danach den Motor 1-2 Stunden laufen lassen, damit das überschüssige Fett aus dem Lager gedrückt wird. Falls vorhanden den Fettaustrittsstopfen wieder einsetzen.

Das Nachschmieren sollte möglichst bei laufendem Motor erfolgen. Manchmal ist dies jedoch nicht möglich. Dann muss der Motor im Stillstand nachgeschmiert werden. In diesem Fall ist zunächst nur die halbe Fettmenge zu verwenden. Danach den Motor einige Minuten mit Volllast laufen lassen. Nach dem Abschalten des Motors die restliche Fettmenge in das Lager drücken, bis das alte Fett vollständig ersetzt wurde. Nach 1- bis 2-stündiger Betriebszeit den Fettaustrittsstopfen wieder einsetzen, falls vorhanden.

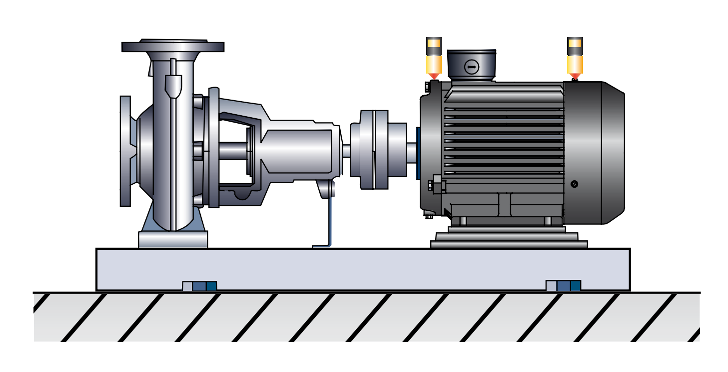


Vorsicht beim Nachschmieren bei laufendem Motor!

Automatisches Nachschmieren

Es gibt verschiedene Arten von automatischen Nachschmierpatronen. Allen gemeinsam ist, dass sie auf den Schmiernippeln des Motors montiert werden und das Schmiermittel dann automatisch über die Schmiernippel in das Lager gedrückt wird. Bei diesem Vorgang kommen Batterien oder Gas zum Einsatz. Moderne, aufwendiger gestaltete automatische Nachschmiervorrichtungen werden über Steuerungen angesteuert.

Insbesondere bei Verwendung von automatischen Nachschmiervorrichtungen muss gewährleistet sein, dass das alte Fett aus dem Motor abgeführt werden kann. Ist dies nicht der Fall, wird das Fett komprimiert. Dadurch kann es zu einer Überhitzung der Lager kommen.



Die Schmierpatrone ist auf den Schmiernippeln des Motors montiert. Das Schmiermittel wird dann automatisch über die Schmiernippel in das Lager gedrückt.



Wissenswertes zur vorausschauenden Instandhaltung

Ziel der vorausschauenden Instandhaltung ist die Reduzierung der Instandhaltungs- und Wartungskosten durch frühzeitiges Erkennen und Abstellen von Problemen bzw. Störungen. Die Überwachung der Motortemperatur, Schwingungen, usw. sind nur einige Beispiele, wie mit Hilfe der aufgenommenen Daten rechtzeitig festgestellt werden kann, wann der Motor repariert oder ausgetauscht werden muss. Auf den folgenden Seiten, werden einige Prüfverfahren vorgestellt, die die erforderlichen Daten über den Zustand des Motors liefern.

Anmerkungen zu den Lagern

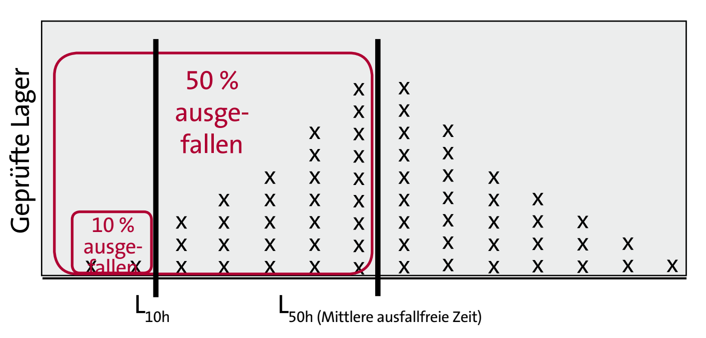
Es ist fast unmöglich vorherzusagen, wie lange die Lebensdauer eines bestimmten Lagers unter realen Betriebsbedingungen tatsächlich ist. Bei Auslegungsberechnungen wird deshalb gewöhnlich die nominelle Lagerlebensdauer L_{10h} verwendet. L_{10h} ist die nominelle Lebensdauer in Stunden, die 90 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten. Eine andere anerkannte Möglichkeit zur Angabe der Lagerlebensdauer ist L_{50h}, die auch als mittlere ausfallfreie Zeit bezeichnet wird. L_{50h} ist die Lebensdauer, die mindestens 50 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten.

Es ist jedoch zu beachten, dass der Wert L_{50h} nicht fünfmal so hoch ist wie der von L_{10h}.

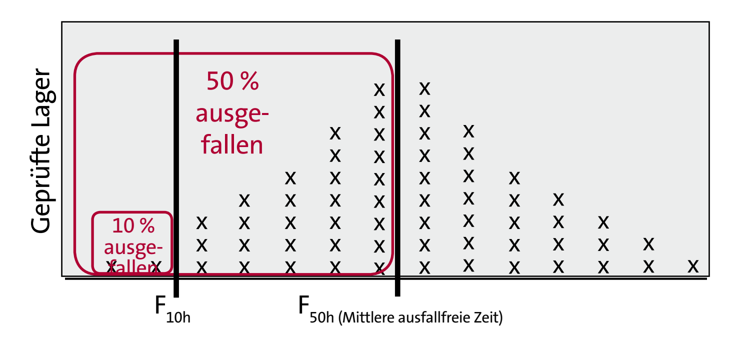
Unter normalen Betriebsbedingungen liegt die Lebensdauer L_{10h} von Motorlagern im Bereich von 16.000 bis 40.000 Betriebsstunden. Sowohl die Lagerlebensdauer L_{10h} als auch die Fettgebrauchsdauer F_{10h} können darüber entscheiden, wann ein dauergeschmiertes Lager ausgetauscht werden muss. Ausschlaggebend ist, welcher Wert niedriger ist.

Anmerkungen zur Isolierung

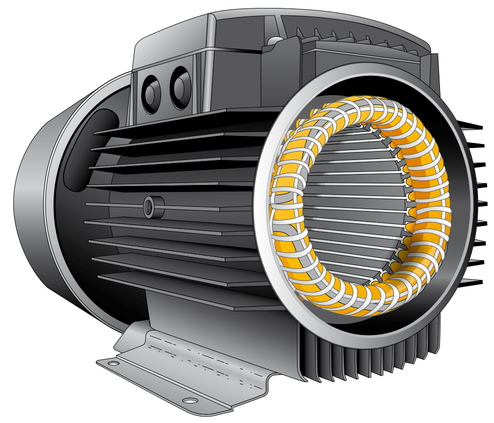
Durch Prüfen der Motorisolierung kann ein möglicher Motorausfall vorherbestimmt werden. Deshalb werden im Folgenden die am häufigsten verwendeten Isolationsprüfungen beschrieben, mit denen ein sich ankündigender Motorausfall festgestellt werden kann. Dazu gehören die Erdungsisolationsprüfung, die Polarisationsindexprüfung, die Durchschlagsprüfung und die Hochspannungsprüfung.



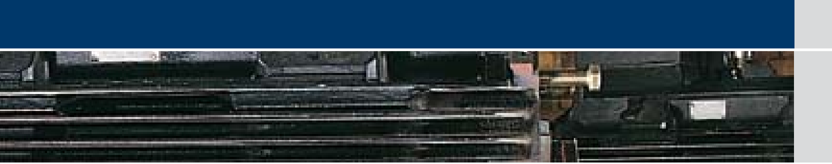
L_{10h} ist die nominelle Lebensdauer in Stunden, die 90 % einer größeren Anzahl gleicher Lager erreichen oder überschreiten.



F_{10h} ist ein Maß für die Lebensdauer der Fettfüllung. F_{10h} ist die Fettgebrauchsdauer in Stunden, bei der 90 % einer größeren Anzahl gleicher Lager nicht ausfallen.



Durch Prüfen der Motorisolierung kann ein sich ankündigender Motorausfall vorherbestimmt werden.



Erdungsisolationsprüfung

Die Erdungsisolationsprüfung ist das am einfachsten durchzuführende Prüfverfahren, um einen bevorstehenden Motorausfall erkennen zu können. Vorgehensweise: Zwischen den Wicklungen des Motors und der Masse wird eine Gleichspannung von 500 oder 1000 V angelegt und der Widerstand der Isolierung gemessen.

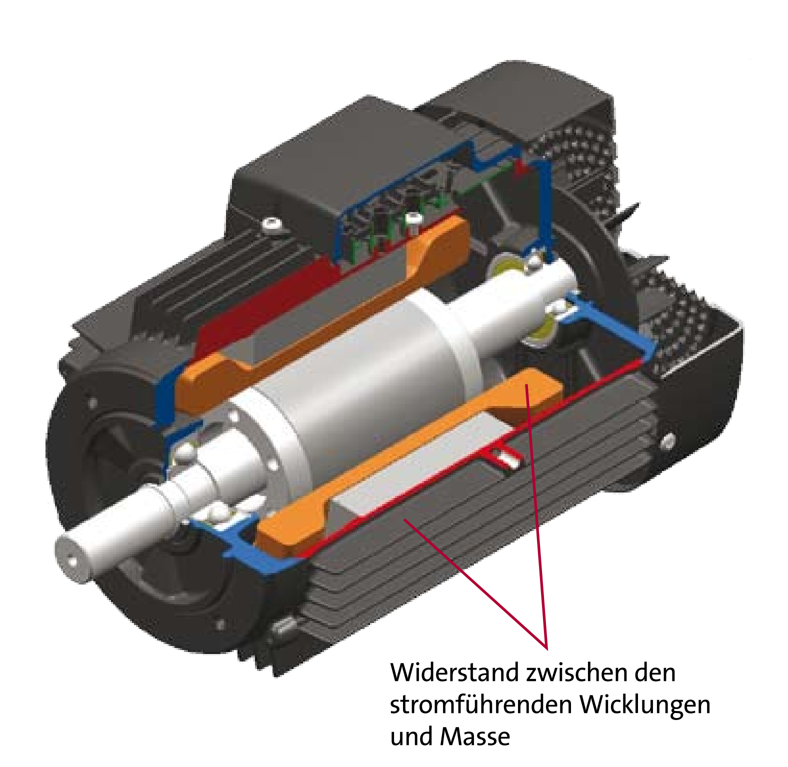
Die Messung des Isolationswiderstands erfolgt mit Hilfe eines speziellen Isolationsmessgeräts, das für Messungen von hochohmigen Widerständen geeignet ist. Während der Messung und auch noch kurz danach führen einige der Klemmen eine gefährliche Spannung und DÜRFEN DESHALB NICHT BERÜHRT WERDEN.

Insgesamt sind drei Punkte zu beachten, die auf der folgende Seite näher erläutert werden. Dies sind: Isolationswiderstand, Messverfahren und Bewertung.

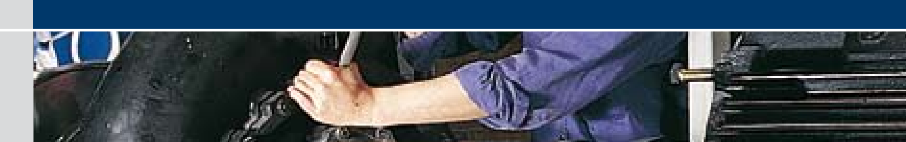
Isolationswiderstand
- Der Mindestisolationswiderstand neuer, gereinigter oder reparierter Wicklungen bezogen auf Masse beträgt 10 Megaohm oder mehr.
- Der Mindestisolationswiderstand R wird berechnet, indem die Nennspannung U_N mit dem konstanten Wert 0,5 Megaohm/kV multipliziert wird. Beispiel: Beträgt die Nennspannung 690 V = 0,69 kV, dann ergibt sich der Mindestisolationswiderstand zu:
  0,69 kV • 0,5 Megaohm/kV = 0,35 Megaohm

Messverfahren

- Zum Messen des Mindestisolationswiderstands der Wicklung gegen Masse wird eine Spannung von 500 V DC angelegt. Die Wicklungstemperatur sollte dabei 25 °C ±15 °C betragen.
- Der maximale Isolationswiderstand wird ebenfalls bei einer Spannung von 500 V DC zwischen den Wicklungen und je nach Motortyp und Wirkungsgrad bei einer Betriebstemperatur von 80-120 °C gemessen.



Erdungsisolationsprüfung



Wissenswertes zur vorausschauenden Instandhaltung

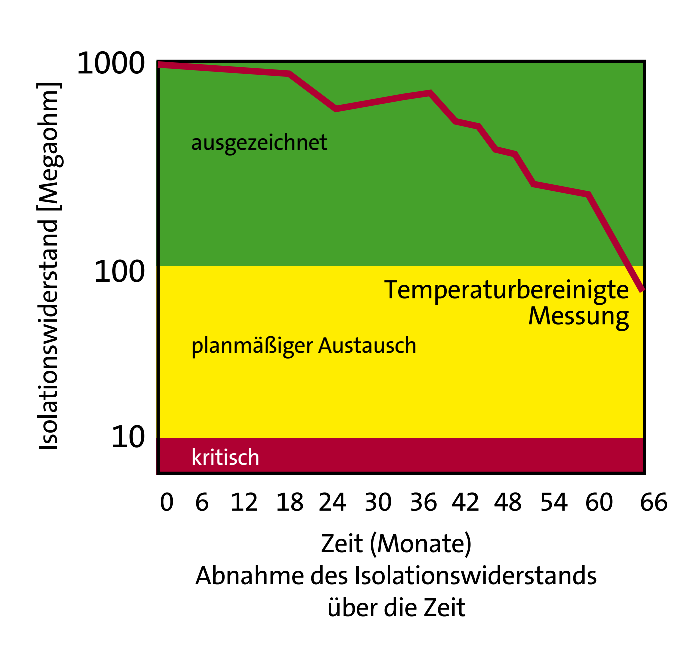
Bewertung

- Ist der Isolationswiderstand eines Motors kleiner als 10 Megaohm, kann es daran liegen, dass die Wicklungen feucht geworden sind und getrocknet werden müssen.
- Bei Motoren mit hoher Laufleistung kann der Mindestisolationswiderstand unter einen kritischen Wert sinken. Solange der gemessene Wert nicht unter dem berechneten Wert des Mindestisolationswiderstandes liegt, kann der Motor weiter betrieben werden. Ist der Messwert jedoch kleiner als der Rechenwert, ist der Motor sofort außer Betrieb zu nehmen, damit keine Personen durch den hohen Ableitstrom gefährdet bzw. verletzt werden.

Isolationswiderstand	Isolationsgrad
2 Megaohm oder weniger	schlecht
2-5 Megaohm	kritisch
5-10 Megaohm	unnormal
10-50 Megaohm	gut
50-100 Megaohm	sehr gut
100 Megaohm oder mehr	ausgezeichnet

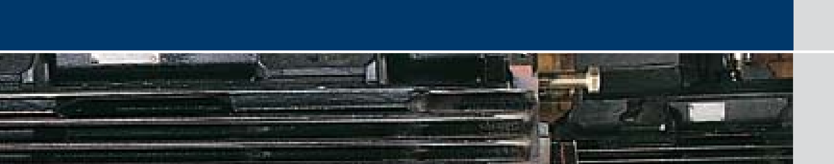
Richtwerte für den Isolationswiderstand

Die Isolationswiderstandsprüfung ist ein sehr nützliches Verfahren, um feststellen zu können, wann ein Motor repariert oder ausgetauscht werden muss. Die Widerstandsmessung sollte regelmäßig durchgeführt werden, um genügend Daten zu erhalten. Durch eine Auswertung der Daten und rechtzeitiges Reagieren kann dann letzendlich ein unerwarteter Motorausfall verhindert werden. Werden die Daten - wie auf der rechten Seite gezeigt - in ein Diagramm eingetragen, ist schnell zu erkennen, ob und wann der Isolationswiderstand abnimmt. In diesem speziellen Beispiel erreicht der Isolationswiderstand nach 60 Monaten einen Wert, bei dem der Motor vom Kundendienst ausgebaut werden sollte, um die Statorwicklungen zu reinigen und zu trocknen. Im schlimmsten Fall muss der Motor neu gewickelt oder ausgetauscht werden.



Abnahme des Isolationswiderstands über die Zeit

Der Isolationswiderstand nimmt mit der Zeit ab.

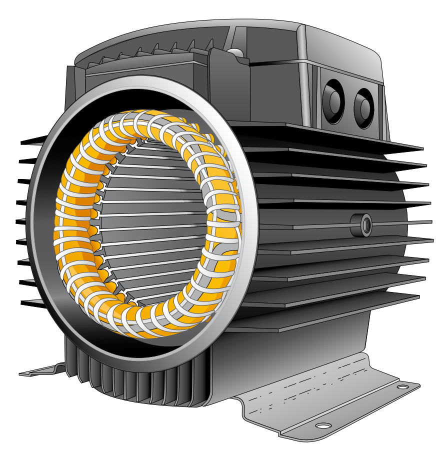


Reinigen und Trocknen der Statorwicklungen

Wird der erforderliche Isolationswiderstandswert nicht erreicht, ist die Wicklung zu feucht und muss getrocknet werden. Der Trocknungsprozess gestaltet sich dabei ziemlich schwierig. Denn durch zu hohe Temperaturen oder einen zu hohen Temperaturanstieg kann sich Dampf bilden, der die Wicklungen beschädigt. Deshalb darf der Temperaturanstieg nicht mehr als 5 °C/h betragen. Zudem dürfen die Wicklungen von Motoren der Wärmeklasse F nur bis maximal 150 °C erwärmt werden.

Während des Trocknungsprozesses ist die Temperatur sorgfältig zu überwachen und der Isolationswiderstand laufend zu messen. Wie reagiert die Wicklung nun auf den Temperaturanstieg? Zunächst sinkt der Isolationswiderstand aufgrund des Temperaturanstiegs weiter ab. Im weiteren Verlauf des Trocknungsprozesses steigt er jedoch wieder an. Für die Dauer des Trocknungsprozesses gibt es keine Richtwerte. Er muss solange weitergeführt werden, bis die fortlaufenden Messungen des Isolationswiderstandes einen konstanten Wert liefern, der höher als der Mindestisolationswiderstand ist. Ist der Isolationswiderstand auch nach dem Trocknungsprozess noch zu gering, ist das Isolationssystem des Motors defekt und der Motor muss ausgetauscht werden.

Motoren, die mit Wasser in Berührung kamen oder die wegen Feuchtigkeit, Öl oder leitenden Staub einen geringen Isolationswiderstand gegen Masse aufweisen, müssen sorgfältig gereinigt und getrocknet werden. Zur Entfernung von Schmutz, Öl, Staub oder Salzkonzentrationen vom Rotor, Stator und von Anschlusskästen wird in der Regel warmes Wasser mit Reinigungszusätzen verwendet. Nach dem Reinigungsprozess müssen die Wicklungen trocknen. Die Trocknungszeit, die zum Erreichen eines ausreichenden Isolationsgrads benötigt wird, variiert von mehreren Stunden bis zu einigen Tagen.



Stator, der im Gehäuse zum Trocknen vorbereitet ist

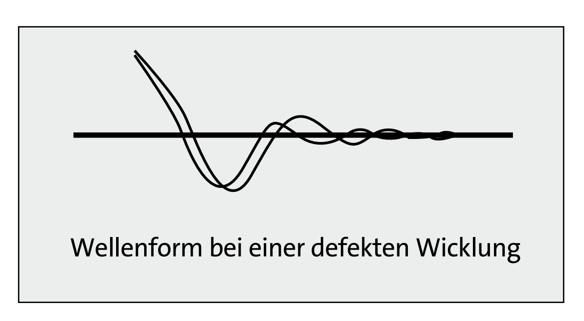


Durchschlagsprüfung

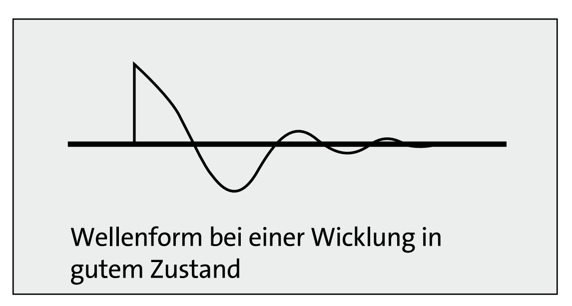
Während mit der Isolationswiderstandsprüfung und der Polarisationsindexprüfung der Verschleiß der Motorisolierung erst im fortgeschrittenen Stadium aufgedeckt werden kann, lässt sich mit der Durchschlagsprüfung ein Verschleißen der Isolierung bereits im Anfangsstadium erkennen.

Bei der Durchschlagsprüfung werden die Wicklungsisolierung und die Phasenisolierung überprüft. Als Phasenisolierung wird der Schutz zwischen der Wicklung und Erde und zwischen den einzelnen Phasen bezeichnet. Die Wicklungsisolierung hingegen ist der dünne Schutzfilm, der auf die Oberfläche der Kupferdrähte aufgetragen wird.

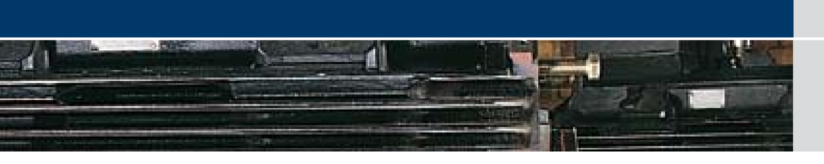
Bei der Durchschlagsprüfung werden die Wicklungsisolierung und die Phasenisolierung mit einer Spannung beaufschlagt. Die Spannung wird durch die Entladung eines Kondensators erzeugt. Bei der Entladung steigt die Spannung in den Wicklungen schlagartig auf einen bestimmten Wert an. Das Ergebnis kann mit Hilfe eines Oszilloskops dargestellt werden. Auf dem Oszilloskopbildschirm ist dann ein charakteristischer Verlauf für jede Phase des Motors zu sehen. Da die drei Phasen des Motors gleich sind, müssen auch die Kurvenverläufe identisch sein. Sind die Kurvenverläufe ungleichmäßig bzw. nicht deckungsgleich, liegt ein Fehler in der Motorisolierung vor.



Wellenform bei einer defekten Wicklung



Wellenform bei einer Wicklung in gutem Zustand



Hochspannungsprüfung (HIPOT)

Bei der Hochspannungsprüfung handelt es sich um eine Überspannungsprüfung, mit der festgestellt werden kann, ob die Wicklungen über ein bestimmtes Isolationsvermögen verfügen. In der Regel können Isolierungen im guten Zustand sehr viel höheren Spannungen standhalten, als sie beim Hochspannungstest ausgesetzt werden. Werden im Rahmen der regelmäßigen Überprüfungen Fehler in der Isolierung festgestellt, ist die Motorisolierung für einen Weiterbetrieb nicht mehr geeignet, so dass der Motor ausgetauscht werden muss. Es gibt zwei Arten von Hochspannungsprüfungen: die Gleichstrom Hochspannungserdungsprüfung und die Wechselstrom-Hochspannungserdungsprüfung.

Gleichstrom-Hochspannungserdungsprüfung

Bei der Gleichstrom-Hochspannungs-erdungsprüfung handelt es sich um eine zerstörungsfreie Routineprüfung. Mit Hilfe der Prüfung wird ein ausreichendes Isoliervermögen bestätigt. Die nachfolgende Gleichung dient zur Bestimmung der Spannung, die bei einer Gleichstrom-Hoch-spannungserdungsprüfung für eine Minute an Motoren angelegt werden muss, die mit einer Spannung von weniger als 600 V betrieben werden.

Neue Motoren:

$$U_{Test} = 1{,}7 \cdot (2\ U_{Nenn} + 1000\ V)$$

Gebrauchte Motoren:

$$U_{Test} = 2\ U_{Nenn} + 1000\ V$$

U_{Test} = Spannung für Gleichstrom-Hochspannungserdungsprüfung
U_{Nenn} = Nennspannung des Motors, z.B. 400 V

Nach Durchführung der Gleichstrom-Hochspannungserdungsprüfung müssen die Wicklungen entladen werden, um Personenschäden zu vermeiden. Um sicherzustellen, dass die verbliebene Ladung abgeführt wird, müssen nach erfolgter Prüfung die Wicklungskabel an die Motormasse angeschlossen werden.



Wissenswertes zur vorausschauenden Instandhaltung

Wechselstrom-Hochspannungsprüfung von Phase zu Erde und Phase zu Phase

Die Wechselstrom-Hochspannungsprüfung von Phase zu Erde und Phase zu Phase wird eingesetzt, um den Sicherheitsabstand zur Betriebsspannung zu ermitteln. Dabei wird eine hohe Wechselspannung zwischen die Wicklungen und Masse sowie zwischen der Phasenisolierung angelegt. Die Wechselstrom-Hochspannungsprüfung dient häufig zum Aufspüren von Schwachstellen im Isolationssystem.

Anders als bei der Gleichstrom-Hochspannungserdungsprüfung handelt es sich bei der Wechselstrom-Hochspannungsprüfung um eine nicht ganz zerstörungsfreie Prüfung. Denn durch die auftretenden Ströme wird die Isolierung zersetzt und dauerhaft geschwächt. Deshalb sollten Wechselstrom-Hochspannungsprüfungen niemals an Motoren mit geringem Isolationswiderstand durchgeführt werden.

Die bei Wechselstrom-Hochspannungsprüfungen anzulegenden Prüfspannungen sind in der internationalen Norm IEC 60034-1 festgelegt. Für Motoren mit einer Ausgangsleitung P_2 < 10000 kW beträgt die Prüfspannung nach dieser Norm:

$$U_{Test} = 2U_{Nenn} + 1000\ V$$

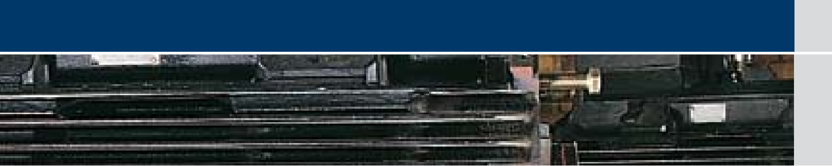
U_{Test} = Prüfspannung für Wechselstrom-Hochspannungsprüfung
U_{Nenn} = Max. Nennspannung des Motors

Die Prüfspannung muss jedoch für eine Minute mindestens 1500 V betragen. In der Serienfertigung von Motoren bis 5 kW kann der 1-minütige Test durch einen 1-Sekunden-Test ersetzt werden, wobei die Prüfspannung um weitere 20 % erhöht wird.

Anstelle der Wechselstrom-Hochspannungsprüfungen werden bevorzugt Gleichstrom-Hochspannungsprüfungen durchgeführt, weil die Prüfausrüstung weniger aufwendig ist und weil durch die geringen Prüfströme die Gefährdung von Personen geringer ist. Außerdem wird das Isolationssystem bei der Gleichstrom-Hochspannungsprüfung nicht beschädigt.



Die Wechselstrom-Hochspannungserdungsprüfung sollte ausschließlich zur Prüfung von neuen und neu gewickelten Motoren eingesetzt werden. Das Prüfverfahren ist nicht für regelmäßige Überprüfungen im Rahmen von Wartungsprogrammen geeignet.



Motortemperatur

Die Motortemperatur hat Einfluss auf die Lebensdauer des Motors und ist gleichzeitig ein Indiz dafür, in welchem Zustand der Motor ist. Übersteigt die Motortemperatur die Grenzwerte der Wärmeklasse (z.B. 155 °C bei Motoren der Wärmeklasse F) um 10 °C, verkürzt sich die Lebensdauer der Isolierung um die Hälfte. Die Wärmeklasse ist immer auf dem Typenschild angegeben.

In der Tabelle auf der rechten Seite sind die beiden am häufigsten vorkommenden Wärmeklassen zusammen mit den charakteristischen Temperaturwerten aufgeführt: B und F. Die Motoren jeder Wärmeklasse müssen einer maximalen Umgebungstemperatur plus dem Temperaturanstieg bei normalen Volllast-Betriebsbedingungen standhalten.

Die Überwachung der Lagertemperatur kann auch für die vorausschauende Instandhaltung genutzt werden. So darf der Temperaturanstieg bei fettgeschmierten Lagern nicht mehr als 60 °C betragen. Gemessen wird die Temperatur an der äußeren Lagerabdeckung.

ΔT_{Lager} = 60 K

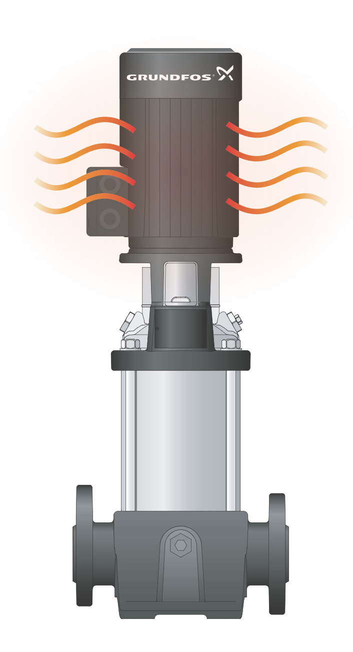
Umgebungstemperatur = 40 °C

Lagertemperatur =
ΔT + Umgebungstemperatur

60 K + 40°C = 100°C

Die Lagertemperatur darf 100 °C NICHT übersteigen.

Die kontinuierliche Überwachung der Lagertemperatur kann entweder von außen mit Thermometern oder mit eingebauten Thermoelementen erfolgen. Die Alarmauslösetemperaturen für Kugellager kann auf 90 °C bis 100 °C eingestellt werden.





Wärmeklasse CI.F(B) = Wärmeklasse F mit Temperaturanstieg B

Wärme-klasse	Heißpunkt in der Isolierung	Typische Oberflächen-temperatur	Typische Lager-temperatur
	Temp. (°C)	Temp. (°C)	Temp. (°C)
B	130	60-90	60-90
F	155	80-120	70-120

Typische, gemessene Absoluttemperaturen für die am häufigsten vorkommenden Wärmeklassen. Obwohl die Grundfos Motoren in die Wärmeklasse F eingestuft sind, entspricht der Temperaturanstieg der Wärmeklasse B. Deshalb werden die in der Tabelle für die Wärmeklasse B aufgeführten Temperaturen verwendet.

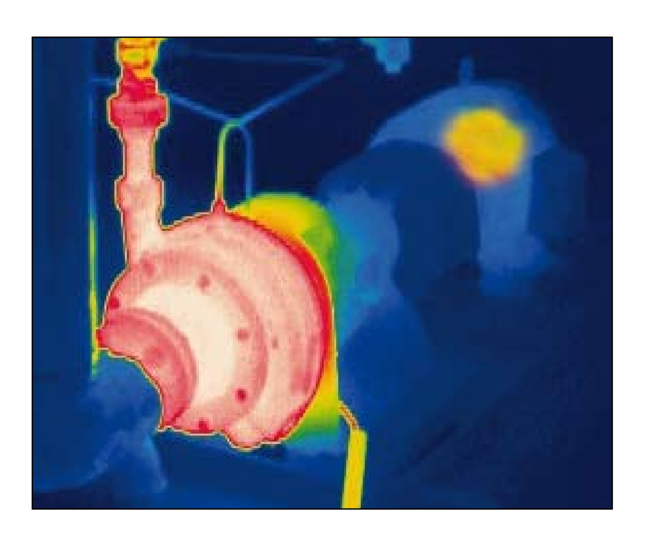


Thermografische Messungen

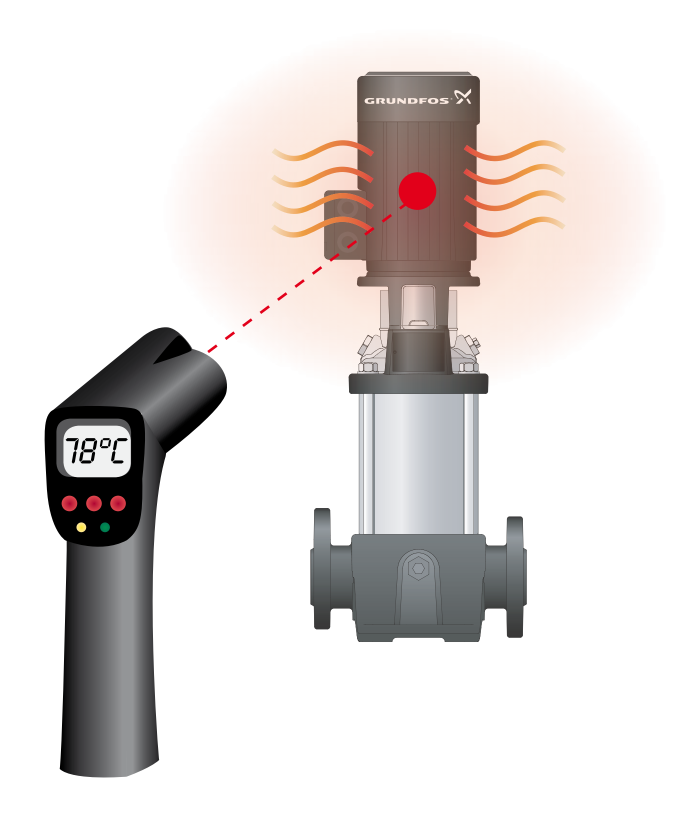
Die Infrarotabtastung ist ein Verfahren, das besonders gut zur Fehlerdiagnose an Motoren geeignet ist. Denn mit Hilfe der Infrarotabtastung ist es möglich, Probleme im Innern des Motors zu erkennen, die zu einem Temperaturanstieg führen. Dazu gehören verschlissene Lager, mangelhafte Schmierung oder Reibungswärme von rotierenden Bauteilen.

Die Infrarotabtastung ermöglicht das Aufspüren und Abbilden von Heißpunkten im Motor. So können nach dem Aufspüren der Heißpunkte rechtzeitig Maßnahmen ergriffen werden, um Schäden am Motor zu verhindern.

In der Regel werden die thermografischen Messungen bei regulärem Betrieb unter Volllast durchgeführt. Mit Hilfe dieses Diagnoseverfahrens können anstehende Reparaturen am Motor entdeckt und langfristig die Effizienz des Wartungsprogramms verbessert werden.



Thermografische Messung an einer Pumpe, die warmes Wasser fördert



Handmessgerät zur Messung von Oberflächentemperaturen



Wissenswertes zur reagierenden Instandhaltung

Bei einem Motorausfall ist es wichtig, das defekte Bauteil zu identifizieren und die Ausfallursache herauszufinden. Denn durch eine vorbeugende Instandhaltung kann ein Ausfall ggf. verhindert werden. Ist die Störung auf ein verschlissenes bzw. geschwächtes Bauteil oder eine unzureichende Wartung zurückzuführen, sind alle ähnlichen Betriebsmittel bzw. Komponenten zu untersuchen, damit der Fehler nicht noch einmal zu einem Ausfall des Motors oder der gesamten Anlage führt.

Reparieren oder Austauschen?

Der Motorwirkungsgrad ist wegen der hohen Stromkosten eines der entscheidenden Kriterien beim Betrieb des Motors. Deshalb stellt sich nach dem Ausfall eines Motors - aus welchen Gründen auch immer - die Frage, ob der Motor repariert oder durch einen neuen Motor ersetzt werden soll. Wegen der ständig weiter steigenden Strompreise entscheiden sich die Betreiber häufig für die Anschaffung eines neuen Motors. Dennoch kann das Neuwickeln oder eine anderweitige Reparatur des Motors die kostengünstigere Lösung sein. Um entscheiden zu können, ob eine Reparatur oder der Austausch eines Motors wirtschaftlicher ist, sind einige Faktoren zu bestimmen:

- Anschaffungspreis <-> Reparaturkosten
- Wirkungsgrad des vorhandenen Motors <-> Wirkungsgrad des neuen Motors
- Verfügbarkeit eines neuen Motors
- Stromverbrauch über die Lebensdauer: vorhandener Motor <-> neuer Motor
- Restwert des vorhandenen Motors
- Kosten für erforderliche Umbaumaßnahmen
- Ausfall- und Reparaturkosten vorhandener Motor <-> neuer Motor



Wissenswertes zur reagierenden Instandhaltung

Ein Hauptkriterium bei der Entscheidung, ob ein Motor repariert oder ausgetauscht werden soll, sind die jährlichen Energieeinsparungen, die auf folgende Weise berechnet werden können:

$$kW_{eingespart} = P_2 \bullet Y \bullet \left(\frac{1}{\eta_{vorh.}} - \frac{1}{\eta_{neu}}\right)$$

P_2 = Leistungsabgabe – auf dem Typenschild angegeben

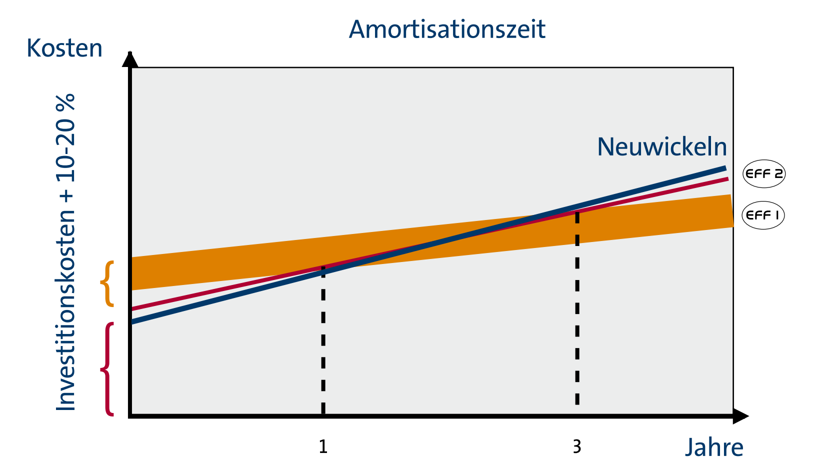
Y = Belastung in % der Nennlast – kann WebCAPS entnommen werden

η_{vorh} = Wirkungsgrad des vorhandenen Motors nach der Reparatur in %

η_{neu} = Wirkungsgrad des neuen Motors in %

Gesamtstromeinsparung =
$kW_{eingespart}$ • Betriebsstunden pro Jahr • Preis pro kWh

Je nachdem in welchem Land der Motor neu gewickelt wird, betragen die Kosten mindestens 33 % vom Anschaffungspreis eines neuen Motors. Da der Wirkungsgrad eines neu gewickelten Motors jedoch häufig geringer als der eines neuen Motors ist, kann die Anschaffung eines neuen Motors jedoch auf längere Sicht wirtschaftlicher sein. Denn beim Ausfall des Motors oder beim Abwickeln der Wicklungen vom Statorkern können hohe Temperaturen auftreten, die Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften des Statoreisenkerns haben. Durch die hohen Temperaturen werden die Eisenverluste im Statorkern erhöht und der Motorwirkungsgrad herabgesetzt. Um die ursprüngliche Motorleistung nach dem Neuwickeln zu erreichen, sind die Vorgaben des Motorherstellers zu befolgen. Damit der Motorwirkungsgrad nach dem Neuwickeln erhalten bleibt oder sogar verbessert wird, haben die auf die Reparatur von Motoren spezialisierten Werkstätten Qualitätsstandards, Prüfverfahren und Schulungsprogramme für das Neuwickeln erarbeitet.



Prinzipielle Darstellung der Kosten eines neu gewickelten Motors im Vergleich zu einem neuen Motor bei unterschiedlichen Wirkungsgraden. Die Kosten für das Neuwickeln des Motors sind von Land zu Land unterschiedlich.

Sicherstellen einer hochwertigen Reparatur

Die folgenden drei Punkte helfen, eine hochwertige Reparatur sicherzustellen:

1. Mögliche Reparaturwerkstätten bewerten
2. Reparaturdauer realistisch einschätzen
3. Reparaturleistung mit der Reparaturwerkstatt abstimmen

Um die in Frage kommenden Reparaturwerkstätten beurteilen zu können, sind einige Informatioen zusammenzutragen. Am besten ist, einen Termin zu vereinbaren und die Reparaturwerkstatt zu besuchen. Für den Besuch ist aureichend Zeit einzuplanen. Nachfolgend ist eine Liste mit Kriterien abgedruckt, mit deren Hilfe die Qualität der Reparaturwerkstatt beurteilt werden kann.

- ✓ Qualitätsmanagementsystem - Ist die Reparaturwerkstatt nach ISO 9000 zertifiziert?

- ✓ **Werkstatteinrichtung**
  Ist die Reparaturwerkstatt mit den erforderlichen Einrichtungen und Hilfsmitteln ausgestattet, um die entsprechende Motorgröße und Motorbauart handhaben zu können?

- ✓ Prüfausrüstung - Prüfen, welche Prüfausrüstung die Reparaturwerkstatt verwendet, um sicherzustellen, dass die Reparatur korrekt ausgeführt wird. Dazu gehören die entsprechenden Geräte zur Vibrationsprüfung, Durchschlagsprüfung, Eisenverlustprüfung, usw.

- ✓ Aufzeichnungssystem - Das Aufzeichnungssystem der Reperaturwerkstatt zeigen lassen. In das Aufzeichnungssystem werden Informationen zu allen durchgeführten Wartungs- und Reparaturarbeiten eingetragen.

- ✓ Verfahren zum Entfernen der Isolierung - Das zum Entfernen der Isolierung verwendete Verfahren erfragen (z.B. Erwärmen, Ausziehen). Beim Erwärmen ist darauf zu achten, wie eine gleichmäßige Temperaturverteilung sichergestellt wird, wenn mehrere Motoren gleichzeitig erwärmt werden. Außerdem müssen Maßnahmen getroffen werden, die die Entstehung von Flammen oder Heißpunkten verhindern.

- ✓ Messwerkzeuge - Werden kalibrierte Messwerkzeuge verwendet?

- ✓ Messen der Rundlaufgenauigkeit von Flansch und Wellenende - Werden die erforderlichen Messungen nach dem Zusammenbau des Motors von der Reparaturwerkstatt durchgeführt?

- ✓ Allgemeine Informationen - Wie hoch ist der Umsatz der Reparaturwerkstatt? Welche Schulungsmöglichkeiten gibt es für die Mitarbeiter?, usw.

- ✓ Allgemeines Erscheinungsbild – Ist die Reparaturwerkstatt sauber und aufgeräumt?



Wissenswertes zur reagierenden Instandhaltung

Austauschen der Lager

Weil die Motorlager einem hohen Verschleiß ausgesetzt sind, müssen sie in der Regel von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden. Damit die Lager jedoch nicht zu häufig ausgestauscht werden müssen, sind die Vorgaben des Herstellers zu beachten.

In den folgenden Abschnitten wird die allgemeine Vorgehensweise zum Ausbauen der Lager und Einsetzen der neuen Lager beschrieben. Außerdem werden die Maßnahmen genannt, die im Rahmen der Montage zu ergreifen sind, um zu gewährleisten, dass die Lager ordungsgemäß in den Motor eingesetzt werden.

Ausbauen der Lager

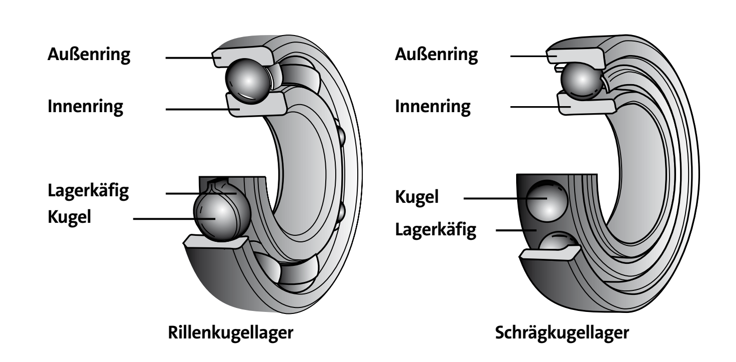
In Verbindung mit Reparatur- und Wartungsarbeiten an anderen Motorbauteilen werden häufig auch die Motorlager ausgebaut. Dabei werden die Welle und das Gehäuse fast immer wieder verwendet. Deshalb gelten auch beim Zerlegen des Motors die gleichen Reinlichkeitsanforderungen wie beim Zusammenbau. Zum Ausbauen der Lager einen Abzieher verwenden. Siehe Abbildung auf der rechten Seite.

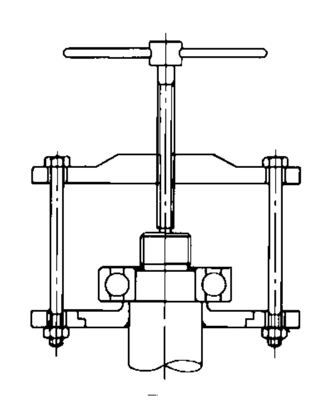
Einsetzen neuer Lager

Vor dem Einbau der neuen Lager müssen die anderen Motorbauteile, wie z.B. das Gehäuse und die Welle, sorgfältig gereinigt werden. Werden das alte Fett und Schmutzanhaftungen nicht entfernt, treten Lagergeräusche auf und die Lebensdauer der neuen Lager wird herabgesetzt.

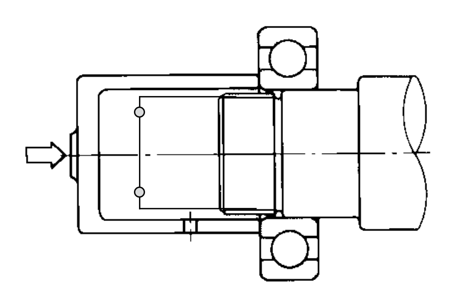
Zum Einbauen des Lagers eine Schlaghülse auf den inneren Lagerring aufsetzen und das Lager mit leichten Hammerschlägen in seine Position auf der Welle treiben, siehe untere Abbildung auf der rechten Seite.

Manchmal müssen große Lager erwärmt werden, damit sie einfacher auf der Welle montiert werden können. Das Erwärmen des Lagers kann z.B. durch Einsetzen einer Heizvorrichtung in die Lagerbohrung erfolgen.





Ausbauen gebrauchter Lager



Einbauen neuer Lager



Einbauempfehlungen für Lager

Lager sind unbedingt sauber zu halten. Das Eindringen von Schmutz oder anderer Verunreinigungen in das Lager kann zum vorzeitigen Ausfall der Lager führen. Im Folgenden werden einige Empfehlungen gegeben, wie die Lager zu handhaben sind, damit sie frei von Schutz bleiben.

- Vor dem Anfassen der Lager immer die Hände waschen.
- Nicht das Korrosionsschutzöl vom Lager entfernen. Die meisten Lager können ohne Entfernen des Korrosionsschutzöls eingebaut werden.
- Die Lager nicht fallen lassen oder anderweitig misshandeln. Lager sind Präzisionsbauteile. Wird ihr innerer Aufbau durch Fremdeinwirkungen verändert, ist ihre Funktion beeinträchtigt.
- Beim Einbau der Lager immer sauberes Werkzeug verwenden und den Arbeitsplatz sauber halten.
- Zum Einbauen der Lager Holz oder ein weiches Metall verwenden. Keine Werkzeuge verwenden, die die Oberfläche der Lager beschädigen.
- Die Verpackung des Lagers erst kurz vor dem Einbau öffnen.
- Die Herstelleranleitung sorgfältig lesen und befolgen.

Funktionsprüfung

Um zu gewährleisten, dass das Lager richtig im Motor eingebaut ist, muss ein Testlauf durchgeführt weren. Zuerst wird dazu die Welle oder das Gehäuse von Hand gedreht. Treten dabei keine Probleme auf, wird die Funktion der Lager bei geringer Drehzahl und ohne Last geprüft. Sind auch hier keine Unregelmäßigkeiten zu erkennen, sind die Last und Drehzahl schrittweise zu erhöhen, bis die normalen Betriebsbedingungen erreicht sind. Treten während dieser Phase der FunktionsprüfungabnormeGeräuscheoderVibrationen auf, ist der Testlauf sofort abzubrechen und zu prüfen, ob der Motor richtig zusammengebaut ist.

Wissenswertes zur reagierenden Instandhaltung

Ersatzteile für Pumpenmotoren

Beschädigte Motorbauteile dürfen nur durch Originalersatzteile ersetzt werden, weil ansonsten die Gewährleistung erlischt.

Für die Reparatur von Grundfos MG- und MMG-Motoren sind folgende Ersatzteile lieferbar:

1. Flansch für Bauform B3, Antriebsseite
   Flansch für Bauform B5, Antriebsseite
   Flansch für Bauform B14, Antriebsseite

2. Wellenabdichtung, Antriebsseite

3. Lager, Antriebsseite

4. Innerer Lagerdeckel, Antriebsseite
   Äußerer Lagerdeckel, Antriebsseite
   Sicherungsring für Lager

5. Klemmenkasten ohne Deckel
   Klemmenkastendeckel
   Klemmenleiste, komplett

6. Innerer Lagerdeckel, Nicht-Antriebsseite
   Äußerer Lagerdeckel, Nicht-Antriebsseite
   Sicherungsring für Lager

7. Lager, Nicht-Antriebsseite

8. Tellerfeder für Lager

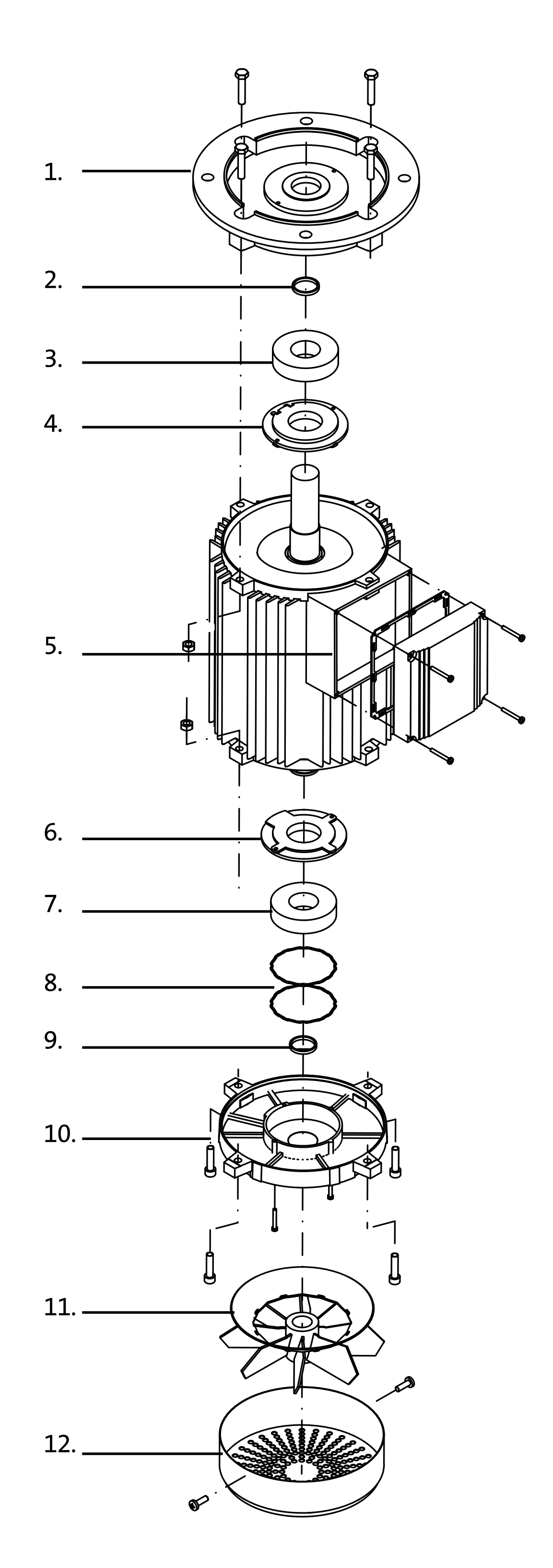
9. Wellenabdichtung, Nicht-Antriebsseite

10. Endabdeckung, Nicht-Antriebsseite

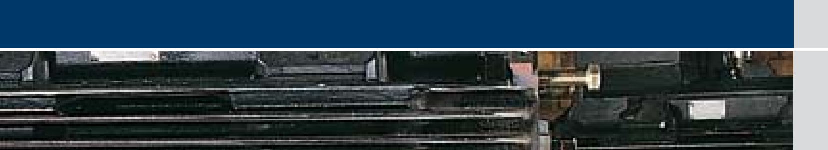
11. Lüfter

12. Lüfterabdeckung

Die Produktnummern für die Ersatzteile sind in WebCAPS angegeben.



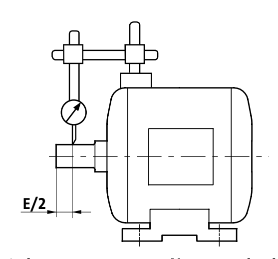
Explosionszeichnung eines Motors



Wissenswertes zur reagierenden Instandhaltung

Messungen an reparierten Motoren

Wird der Motor zum Austauschen der Lager zerlegt, sind der Rundlauf des Wellenendes und die Flanschtoleranzen entsprechend der internationalen Norm IEC 60072-1 zu überprüfen.



Rundlaufabweichung am Wellenende bei B3-Motoren

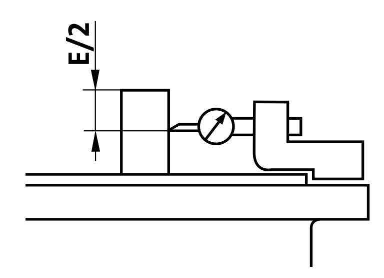
Rundlauf des Wellenendes

Wellendurchmesser	>10 bis 18 mm	>18 bis 30 mm	>30 bis 50 mm	>50 bis 80 mm	>80 bis 120 mm
Rundlauf µm	35 µm (0,035 mm)	40 µm (0,040 mm)	50 µm (0,050 mm)	60 µm (0,060 mm)	70 µm (0,070 mm)

Max. Exzentrizität der Welle bei Flanschmotoren (Standardreihe)

Zum Messen der Rundlaufabweichung den Zeiger der Messuhr in Längsrichtung gesehen mittig an der Wellenoberfläche ansetzen. Den maximalen und minimalen Wert an der Messuhr nach einer langsamen Umdrehung der Welle ablesen. Die Differenz zwischen den beiden abgelesenen Werten darf den in der oberen Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten.

Die Überprüfung kann bei horizontal oder vertikal aufgestelltem Motor erfolgen. Dabei kann die Messuhr direkt am Motor montiert sein oder auf einer Unterlage, auf dem der Motor und die Messuhr befestigt sind.



Rundlaufabweichung am Wellenende bei B14-/V18-/B5-/V1-Motoren

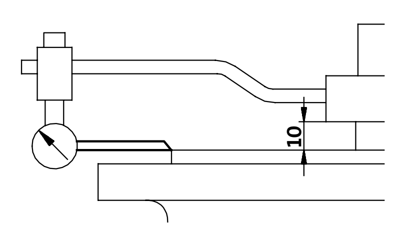
Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes

Flansch (FF) oder Kopfplatte (FT)	FF 55 bis FF 115	FF130 bis FF 265	FF 300 bis FF 500	FF 600 bis FF 740	FF 940 bis FF 1080
µm	80 µm (0,08 mm)	100 µm (0,10 mm)	125 µm (0,125 mm)	160 µm (0,16 mm)	200 µm (0,20 mm)

Max. zuläsige Toleranzen für die Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes

Zum Messen der Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes die Messuhr fest am Wellenende mit einem Abstand von 10 mm von der Montagefläche des Flansches montieren. Dazu eine Messvorrichtung, wie in der Abbildung auf der rechten Seite gezeigt, verwenden.

Den maximalen und minimalen Wert an der Messuhr nach einer langsamen Umdrehung der Welle ablesen. Die Differenz zwischen den beiden an der Messuhr abgelesenen Extremwerten für die Rundlaufgenauigkeit darf den in der oberen Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten.
Die Überprüfung bei vertikaler Motorwelle durchführen, damit die Messung frei vom Einfluss der Schwerkraft ist.



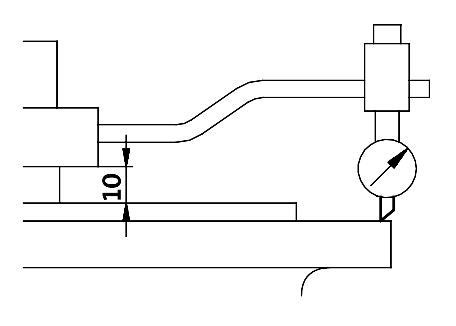
Rundlaufgenauigkeit des Wellenabsatzes



Wissenswertes zur reagierenden Instandhaltung

Rechtwinkligkeit zwischen der Montagefläche des Flansches und der Welle

Zum Messen der Rechtwinkligkeit die Messuhr fest am Wellenende mit einem Abstand von 10 mm von der Montagefläche des Flansches montieren. Dazu eine Messvorrichtung, wie in der Abbildung auf der rechten Seite gezeigt, verwenden.
Den maximalen und minimalen Wert an der Messuhr nach einer langsamen Umdrehung der Welle ablesen.
Die Differenz zwischen den beiden an der Messuhr abgelesen Extremwerten für die Rechtwinkligkeit darf den in der unteren Tabelle angegebenen Wert nicht überschreiten. Die Messungen an dem Motor sind bei vertikaler Welle vorzunehmen, um das Axialspiel im Lager auszuschalten.



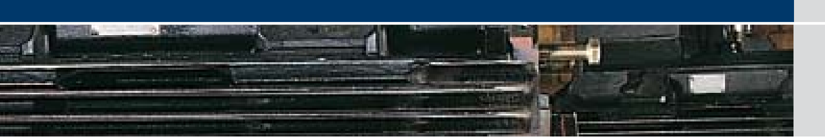
Rechtwinkligkeit zwischen der Montagefläche des Flansches und der Welle

Flansch (FF) oder Kopfplatte (FT)	FF 55 bis FF 115	FF130 bis FF 265	FF 300 bis FF 500	FF 600 bis FF 740	FF 940 bis FF 1080
µm	80 µm (0,08 mm)	100 µm (0,10 mm)	125 µm (0,125 mm)	160 µm (0,16 mm)	200 µm (0,20 mm)

Max. zulässige Toleranzen für die Rechtwinkligkeit zwischen der Montagefläche des Flansches und der Welle

Zusammenfassung

Ziel der Motorwartung ist, unplanmäßige und kostspielige Ausfälle wie bei der reagierenden Instandhaltung zu vermeiden, um den Herstellungsprozess nicht zu beeinträchtigen. Zusätzlich kann durch die vorbeugende Instandhaltung der Motorwirkungsgrad und damit auch der Anlagenwirkungsgrad verbessert werden. Die vorausschauende Instandhaltung hingegen hilft, den Zeitpunkt vorauszubestimmen, wann der Motor durch einen energieeffizienteren Motor ausgetauscht werden muss. Wird die vorbeugende und vorausschauende Instandhaltung nicht in dem erforderlichem Maße betrieben oder ist der Motor falsch ausgelegt, falsch installiert oder mit Material- oder Herstellungsfehlern behaftet, hilft nur noch eine reagierende Instandhaltung. Eine reagierende Instandhaltung ist jedoch immer eine außerplanmäßige Instandhaltung, die zu entsprechenden Produktionsausfällen führt, weil der Motor durchgebrannt oder anderweitig beschädigt ist.



BE > THINK > INNOVATE >

Being responsible is our foundation
Thinking ahead makes it possible
Innovation is the essence

GRUNDFOS MANAGEMENT A/S
Poul Due Jensens Vej 7
DK-8850 Bjerringbro
Tel: +45 87 50 14 00

www.grundfos.com

GRUNDFOS®